



2020

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 26 № 3

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2020

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 03th of June, 2020

© NUFT, 2020

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 03 червня 2020 року

© НУХТ, 2020

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Анатолій Українець
Anatoliy Ukrainets

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Заступник головного редактора
Deputy chief editor

Олександр Шевченко
Olexander Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Юрій Пенчук
Yuriy Penchuk

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене
Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва
Ph. D. Hab., Lithuanian Institute of Agrarian Economics,
Lithuania

Атанаска Тенсва
Atanaska Teneva
Анатолій Зайнчковський
Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, доц., Болгарія
Ph. D. Hab., University of Food Technolodgies, Bulgaria
д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Андрій Маринін
Andriy Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Брайан Мак Кенна
Brian McKenna
Валерій Мирончук
Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Ірландія
Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland
д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Кишенько
Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., 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

Віктор Доценко
Victor Dotsenko

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., National University of Food Technologies, Ukraine

Володимир Іванов
Volodymyr Ivanov

д-р. біол. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Колісник
Halyna Kolisnyk
Галина Поліщук
Halyna Polishchuk

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., Uzhhorod National University, Ukraine
д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Герхард Шльонінг
Gerhard Schleining
Дайва Лескаускайте
Daiva Leskauskaite
Ірина Штулер
Iryna Shtuler
Кристина Сильва
Cristina L.M. Silva
Лада Шірінян
Lada Shirinyan

д-р техн. наук, Австрія
Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
д-р техн. наук, проф., Литва
Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National academy of management
д-р техн. наук, проф., Португалія
Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Лариса Арсеньєва
Larisa Arsenyeva

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Наталія Луцька
Nataliia Lutska

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Олександр Бутнік-Сіверський
Oleksandr Butnik-Siverskyi

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Олександр Гавва
Oleksandr Gavva

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Олександр Кургаєв
Oleksandr Kurgaev

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Олена Дерев'яно
Olena Derevianko

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Олена Стабнікова
Olena Stabnikova

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Паола Піттія
Paola Pittia
Володимир Ковбаса
Volodymyr Kovbasa

д-р техн. наук, проф., Італія
Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Світлана Бондаренко
Svitlana Bondarenko

д-р хім. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Світлана Літвинчук
Svitlana Litvynchuk

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Сергій Чумаченко
Serhii Chumachenko

д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Хууб Лелієвельд
Huub Lelieveld

Нідерланди
Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization
Initiatives, Netherlands

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Ладанюк А. П., Власенко Л. О., Луцька Н. М., Смітюх Я. В., Бойко Р. О. Автоматизовані технологічні комплекси: сучасні методи, задачі аналізу та синтезу. Частина 1. Аналіз проблеми

Шишак А. В., Пупена О. М. Керування життєвим циклом людино-машинних інтерфейсів

Чумаченко С. М., Мошенський А. О., Савицька Я. А., Смолій В. В. Синтез оцінки стану складної системи методами кластеризації

Качанов П. О., Євсєєнко О. М., Півненко А. М. Автоматизована система керування мікрокліматом грибною ферми

Біотехнології

Черепанський В. В., Грегірчак Н. М. Особливості технологічного процесу виробництва пробіотичного препарату на основі лактобацил

Пирог Т. П., Петренко Н. М., Палійчук О. І. Дія на мікроорганізми поверхнево-активних речовин, синтезованих *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 на промислових відходах

Вискірко С. І., Скроцька О. І. Протипухлинна активність і деякі аспекти біотехнології мікробних протиракових метаболітів

Економіка, менеджмент і маркетинг

Мельник А. О., Поліщук М. Р., Білко М. В. Реалізація проєктів Міжнародного банку реконструкції та розвитку в Україні

Бойко С. В., Дячук Я. С. Позиція державних банків у банківській системі України: аспект рентабельності

Страшинська Л. В., Никоненко А. В. Вітчизняний ринок кондитерських виробів в аспекті загальносвітових тенденцій розвитку

Скопенко Н. С., Євсєєва-Северина І. В. Безпечність харчових продуктів як важлива складова конкурентоспроможності підприємств

Ільчук М. М., Радько В. І., Дмитрук М. І., Кучеренко В. М. Розвиток виноградарства в підприємствах півдня України

Курченко К. М., Грищенко Д. Г. Фактори і проблеми, що впливають на розвиток ділової кар'єри сучасної особистості

Механічна та електрична інженерія

Буляндра О., Гапонич Л., Голенко І., Топал О. Перспективи використання палива з твердих побутових відходів на ТЕЦ цукрових заводів

CONTENTS

Automation and Information Technologies

Ladanyuk A., Vlasenko L., Lutska N., Smityuh Y., Boyko R. Automated technological complexes: modern methods and problems of analysis and synthesis. Part 1. Analysis of the problem

Shyshak A., Pupena O. Management of human-machine interface lifecycle

Chumachenko S., Moshensky A., Savitskaya I., Smolii V. Complex systems state overall estimation synthesis by clustering methods

Kachanov P., Yevseienko O., Pivnenko A. Mushroom farm automated control system

Biotechnology

Cherepanskyi V., Hrehirchak N. Peculiarities of the technological process of manufacture of probiotic preparation on the basis of lactobacilli

Pirog T., Petrenko N., Paliichuk O. Action on microorganisms of surfactants synthesized by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 on industrial waste

Vyskirko S., Skrotska O. Anti-tumor activity and some aspects of biotechnology of microbial anti-cancer metabolites

Economy, Management and Marketing

Melnyk A., Polishchuk M., Bilko M. Implementation of International bank of reconstruction and development projects in Ukraine

Boiko S., Diachuk Ya. The position of state-owned banks in the banking system of Ukraine: the aspect of the rate of return

Strashynska L., Nikonenko A. Domestic market of confectionery products in the aspect of general world development trends

Skopenko N., Yevsieieva-Severyna I. Food safety as an important component of enterprise competitiveness

Ilchuk M., Radko V., Dmytruk M., Kucherenko V. Viticulture development in the enterprises at the south of Ukraine

Kurchenko K., Hryshchenko D. The development of the modern personality's business career

Mechanical and Electrical Engineering

Bulyandra O., Haponych L., Golenko I., Topal O. Prospects of the use of fuel from municipal solid waste at TPP of sugar factories

- Петренко В. П., Прядко М. О., Рябчук О. М., Цьось А. Л. Моделювання теплообміну у вільно стікаючих слаботурбулентних плівках рідини під час пароутворення 147 *Petrenko V., Pryadko M., Riabchuk O., Tsoys A.* Heat transfer modeling in a freely flowing evaporating weakly turbulent liquid film
- Стрельченко Л. В., Дубковецький І. В. Енерго- 158 *Strelchenko L., Dubkovetskyi I.* Energy efficiency from the introduction of convective-thermoradiation drying equipment with a heat pump
- Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Василь- 165 *Sokolenko A., Shevchenko O., Vasylykivsky K., Litvinchuk S.* Assessment of prospects for the use of secondary energy resources of breweries
- Кирик І. М., Гуринова Т. А., Кирик А. В., Селех В. І. Исследование технологических параметров при выпечке заварных ржано-пшеничных хлебов в параконвекционных пекарных камерах 177 *Kirik I., Gurinova T., Kirik A., Celech V.* Study on technological parameters for baking fermented rye-wheat breads using combi-steam ovens

Харчові технології

- Любич В. В., Желєзна В. В., Єремєєва О. А. 185 *Liubych V., Zheliezna V., Yermeeva O.* Extrudate quality of soft wheat grain depending on variety and line
- Авдієєва Л. Ю., Декуша Г. В., Жукотський Е. К. 197 *Avdieieva L., Dekusha H., Zhukotskyi E.* Enzymatic protein hydrolysates for specialized food products
- Москалюк О. Є., Гащук О. І., Бреус Н. М. 205 *Moskalyuk O., Haschuk A., Breus N.* Mathematical and statistical assessment of the investigated meat pates
- Пасічний В. М., Хорунжа Т. О., Полум- 214 *Pasichnyi V., Khorunzha T., Polumbryk M.* Research of the influence of pasteurization on organoleptic, rheological and physicochemical characteristics of sausages
- Алексєєнко М. С., Літвяк В. В., Суса А. Г., 222 *Alekseenko M., Litvyak V., Sysa A., Hrabovska E., Galenko O.* Optimization of technological modes of cold acid hydrolysis of potato starch
- Грабовська Е. В., Галенко О. О. Оптимі- 234 *Simakhina G., Kaminska S.* The state and the perspectives of development of the domestic market of frozen fruit and berry half products

Хімічні науки

- Костенко Є. Є., Ганчук В. Д., Бутенко О. М. 243 *Kostenko E., Ganchuk V., Butenko E.* Monitoring of nitrates and measures for their reduction in plant products

Chemical Sciences

AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEXES: MODERN METHODS AND PROBLEMS OF ANALYSIS AND SYNTHESIS. PART 1. ANALYSIS OF THE PROBLEM

A. Ladanyuk, L. Vlasenko, N. Lutska, Y. Smityuh, R. Boyko

National University of Food Technologies

Key words:

*Automated technological
complex
System analysis
System engineering
Efficiency*

Article history:

Received 15.04.2020

Received in revised form
30.04.2020

Accepted 14.05.2020

Corresponding author:

A. Ladanyuk

E-mail:

ladanyuk@ukr.net

ABSTRACT

The article explores traditional and modern approaches of the development of automated technological complexes of food industry. Particularly, the requirements for the system under development, including reliability, security, sensitivity, and robustness, are analyzed. Approaches to the design of the system, which features are multidimensionality, non-linearity and uncertainty of operating conditions, are shown.

The main criteria for the synthesis of efficient automated technological complexes are determined and the modern methods of optimization of these criteria are analyzed. It is noted that due to the multicriteria and complexity of the criterion, new methods are needed for the operational optimization of production, such as multi-step dimensionality reduction, global Peano's curve search; coverage of rectangular parallelepiped equal cubes, global search using stochastic automaton and others.

Particular attention is paid to the formation of generalized conclusions on the synthesis of automated technological complexes, which generally include formation of requirements, development of alternative structures of the system, optimization of the parameters of the selected structure of the technological complex and the verification of the developed system.

Authors point out the necessity and expediency of using systems' engineering methods in the design and creation of modern automated technological complexes, which is connected to the objective need to take into account a large amount of information for processing, system requirements, conditions and uncertainties of functioning and risks, as well as interconnections hardware and software components of the system.

Research is divided into two parts (two articles): the first is devoted to the analysis of the problem and definition of modern approaches of the development of automated technological complexes; the second is about successful results of the development and implementation of such systems in specific food industries.

АВТОМАТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ: СУЧАСНІ МЕТОДИ, ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ. ЧАСТИНА 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

А. П. Ладанюк, Л. О. Власенко, Н. М. Луцька, Я. В. Смітюх, Р. О. Бойко
Національний університет харчових технологій

У статті досліджено традиційні та сучасні підходи до розробки автоматизованих технологічних комплексів харчової промисловості, зокрема проаналізовано вимоги до системи, яка розробляється, що включають надійність, безпечність, чутливість і стійкість. Показано підходи до проектування системи, особливостями якого є багатовимірність, нелінійність і невизначеність умов функціонування.

Визначено основні критерії синтезу ефективних автоматизованих технологічних комплексів і проаналізовано сучасні методи оптимізації цих критеріїв. Зазначено, що внаслідок багатокритеріальності та складності критерію необхідні нові методи для оперативної оптимізації виробництва: багатокрокової редукції розмірності, глобального пошуку за кривою Пеано, покриття прямокутного паралелепіпеда рівними кубами, глобального пошуку за допомогою стохастичного автомата тощо.

Особливу увагу приділено формуванню узагальнених висновків щодо синтезу автоматизованих технологічних комплексів, що в загальному включають формування вимог, розробку альтернативних структур системи, оптимізацію параметрів обраної структури технологічного комплексу та перевірку розробленої системи.

Окремо авторами вказується на необхідність і доцільність використання методів системної інженерії при проектуванні та створенні сучасних автоматизованих технологічних комплексів, що пов'язано з об'єктивною потребою враховувати велику кількість інформації для обробки, вимог до системи, умов і невизначеностей функціонування та ризиків, а також взаємозв'язки апаратних і програмних складових системи.

Дослідження розділено на дві частини (дві статті): перша присвячена аналізу проблеми та визначенню сучасних підходів до розробки автоматизованих технологічних комплексів; друга — аналізу результатів розробки та впровадженню таких систем на конкретних харчових виробництвах.

Ключові слова: *автоматизований технологічний комплекс, системний аналіз, системна інженерія, ефективність.*

Постановка проблеми. Автоматизовані технологічні комплекси (АТК) є основою виробництва різних видів готової продукції та джерелом забезпечення високих техніко-економічних показників підприємства. В технічній літературі

використовується також термін «хіміко-технологічні системи» (ХТС) [1]. Створення та експлуатація АТК та ХТС передбачає комплекс задач, які розв'язуються сучасними методами стосовно технологій виробництва, технологічного обладнання, ефективного керування (систем автоматизації різного рівня та призначення), забезпечення високих ресурсо- та енергоефективних показників.

У Національному університеті харчових технологій протягом багатьох років виконувались науково-технічні роботи з розробки та впровадження ефективних АТК для різних підприємств; в короткій бібліографії наведено посилання на дисертації, статті, монографії, підручники та навчальні посібники [2—14].

У статті викладено основні підходи до створення АТК різних виробництв на основі методів сучасної теорії управління, розробки мікропроцесорних систем автоматизації різного рівня та призначення, використання багаторівневих систем з необхідним забезпеченням (інформаційним, програмним, технічним, організаційним). Основні задачі керування розв'язуються також методами системної інженерії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. АТК — технологічний об'єкт та система автоматизації, які функціонують сумісно та розв'язують задачі ефективного керування на основі комплексу показників і загальних критеріїв техніко-економічного характеру [1; 2]. Важливою особливістю АТК є можливість розв'язання оптимізаційних задач на різних рівнях ієрархії. Загальні процедури аналізу та синтезу АТК показані на рис. 1 [12].

Технологічні комплекси (ТК) або окремо виділені ХТС мають ряд основних властивостей як об'єктів автоматизації одного класу [1; 8; 14]: надійність, безпечність, чутливість, перешкодостійкість, керованість, емерджентність і складність. При розробці систем автоматизації враховуються також багатовимірність, нелінійність, розподіленість координат, багатокритеріальність тощо [4; 5; 7; 9; 11]. Крім цього, необхідно враховувати перехресні зв'язки між координатами, особливості процесів тепло- та масообміну, гідродинаміки, фазових перетворень тощо [3; 10; 13].

Кожен ТК має особливості, які визначаються його умовами функціонування та призначенням. Так, для харчової та переробної промисловості необхідно враховувати зміну в досить широких діапазонах якісних показників сировини, наприклад, цукрових буряків (цукрові заводи), інтенсивне зменшення умов теплопередачі в теплообмінниках тощо [4—7; 13].

Не слід забувати, що АТК — це апаратно-програмний комплекс, тому його можна розглядати з точки зору системної інженерії, а при розробці можна використати сучасні досягнення в цій галузі та міжнародні стандарти [15—17].

Ці та інші обставини потребують застосування методів сучасної теорії керування та системної інженерії для досягнення потрібних показників функціонування АТК.

Метою статті є узагальнення та аналіз традиційних і сучасних підходів, розроблених також у НУХТ, до розробки АТК харчових виробництв.

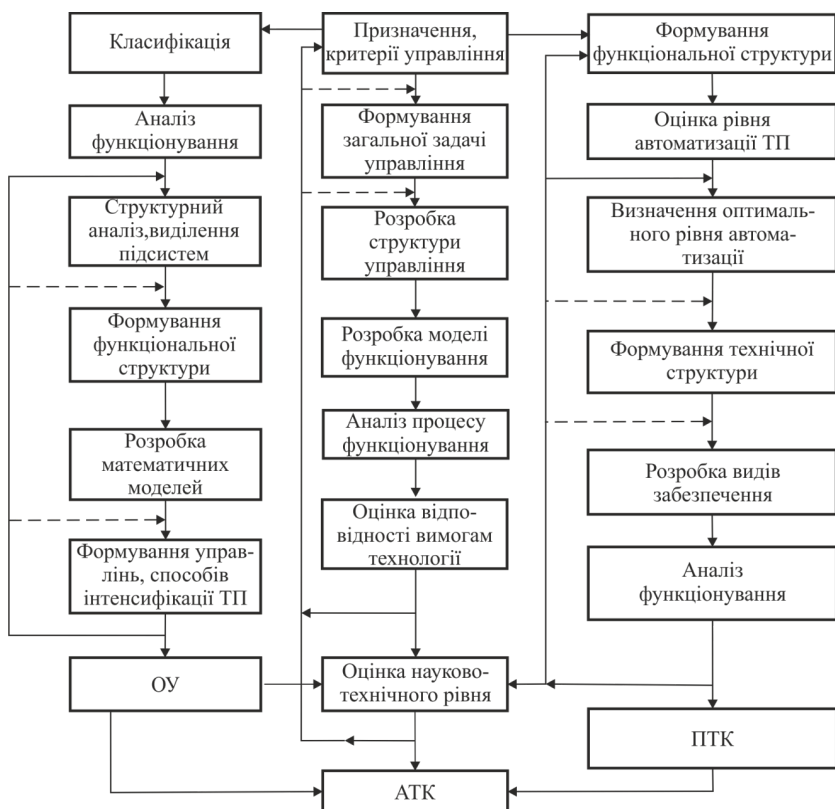


Рис. 1. Загальна структура процедур при створенні АТК

Викладення основних результатів дослідження. Існує два шляхи для розв'язання задачі синтезу АТК:

- розробляється система автоматизації для існуючого ТК;
- паралельно розробляються задачі створення ТК та системи автоматизації.

Перший варіант реалізується частіше, але часом виникає об'єктивна необхідність модернізації технології й технологічного обладнання, наприклад, для забезпечення додаткових вимог до АТК, зокрема для зменшення матеріальних та енергетичних ресурсів або підвищення якості процесу функціонування чи надійності тощо.

При розробці АТК приділяють увагу забезпеченню таких вимог:

- **надійності** як властивості виконувати необхідні функції при забезпеченні показників функціонування (продуктивність, якість продукції, витрат ресурсів тощо) у заданих межах згідно з технологічним регламентом, що реалізується комплексом організаційно-технічних засобів, у тому числі й технічними характеристиками системи автоматизації. Надійність є комплексним показником, який включає частинні оцінки — безвідмовність, ремонтпридатність, тривалість тощо. В цьому разі доцільно керуватись комплексними показниками надійності: ведуча функція потоку відмов, інтенсивність, функція розподілу, параметр потоку відмов, функція і коефіцієнт готовності і простою;

- *безпечності* як здатності підтримувати такий стан, при якому виключається можливість відмов, аварій, різних відхилень від заданого режиму функціонування, які є небезпечними для людини та зовнішнього середовища. Наприклад, розрахунком коефіцієнта ефективності (1) або оцінюванням терміну збережаності, протягом якого відбувається збереження системи в певних умовах, що забезпечує встановлені показники її якості:

$$K_e = \frac{E_1}{E_2}, \quad (1)$$

де E_1 — показник ефективності роботи АТК з урахуванням відмов; E_2 — показник ефективності роботи АТК з припущенням, що відмов за цей період не виникне;

- *чутливості* як відхилення змінних стану, вихідних змінних, показників техніко-економічного функціонування під впливом зміни параметрів об'єкта від заданих значень і технологічного регламенту. Врахування цих відхилень потребує створення системи керування з властивостями адаптації та робастності, що є складною науково-технічною задачею;

- *стійкості* як гарантованої здатності зберігати необхідні властивості, насамперед збіжні перехідні процеси, які виникають під дією збурень, характер яких не завжди відомий, що відповідає стаціонарним режимам. Оцінки та забезпечення стійкості потребують додаткового вивчення характеристик можливих збурень — детермінованість, стохастичність, величина відхилень тощо. Особливого значення набуває можливість реалізації статистичного керування з прогнозом, що забезпечує як показники стійкості, так і якості. При порушенні показників стійкості значно погіршується техніко-економічні показники функціонування об'єкта.

В ієрархічних системах керування доводиться враховувати розподіл критеріїв оптимальності (критеріїв економічності) за рівнями. Так, глобальний критерій керування в складних АТК оцінюється показником:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} \left(ВЦ - \sum_{i=1}^n 3_i \right) dt \rightarrow \max, \quad (2)$$

де $В$ — обсяг готової продукції; $Ц$ — її ціна; 3_i — затрати на випуск продукції, $i = \overline{1, n}$. Кожна зі складових в (2) може залежати від параметрів, що оптимізується.

Цьому критерію відповідають частинні показники, наприклад, якості перехідних процесів (нижній рівень) та узагальнені оцінки: питомі витрати матеріальних та енергетичних ресурсів, собівартість та якість продукції тощо.

Для розробки ефективних АТК використовуються системи автоматизованого проектування, програмне забезпечення яких враховує ряд особливостей та суперечливих вимог щодо вартості та інформаційного і технічного забезпечення. В будь-якому варіанті ТК розглядається як множина взаємозв'язаних статичних і динамічних об'єктів, кожен з яких має свої критерії ефективності, математичні моделі та обмеження. Потoki інформації між підсистемами ТК постійно зростають, тому розв'язати комплекс динамічних задач оптимального

керування на основі математичних моделей у вигляді диференціальних рівнянь неможливо.

Сучасний підхід до створення АТК передбачає непослідовне нарощування нових моделей і залежностей, створення баз даних і знань на основі науково-дослідних робіт, удосконалення інформаційного забезпечення зі своїми програмними модулями, які враховують: наявність значної кількості підсистем ТК, багатовимірність системи, багатокритеріальність для оцінки процесу функціонування, різноманітність структури, особливості технологічних процесів.

При використанні комп'ютерних технологій, створенні автоматизованих робочих місць (АРМ) з орієнтацією на підтримку прийняття управлінських рішень виникає необхідність оцінки критерію якості при невизначеності вектора параметрів технологічного процесу:

$$Q_j = f(x), \quad x \in \Omega, \quad j = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Область значень Ω параметрів $x_i, i=1, \dots, n$ повинна бути такою, щоб гарантувати стійкість системи, а в області Ω відхилення від заданих значень при допустимих збуреннях має не перевищувати заданих оцінок. Необхідно враховувати, що техніко-економічні показники системи залежать від параметрів, які також мають обмеження.

У загальному випадку формується вектор локальних критеріїв $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$ таким чином, щоб між глобальним критерієм I в (2) та сукупністю локальних критеріїв Q_j в (3) був окремий або опосередкований зв'язок, тоді оптимізацію I можна здійснювати на основі послідовної оптимізації локальних критеріїв Q_j .

Головна особливість функції якості Q_j полягає в тому, що частина функцій Q_j має кілька екстремумів і неаналітичний характер, тому отримати частинні похідні $\partial Q_j / \partial x_i$ неможливо у вигляді формул, тобто пошук глобального мінімуму функції якості неможливий.

При використанні комп'ютерних технологій доцільно розглядати різні варіанти здійснення технологічних процесів у різних технологічних агрегатах, що приводить до збільшення варіантів АТК. У реальних умовах розглядається ієрархічна структура, а при переході на наступний рівень прийняття проектних рішень кожен із можливих варіантів породжує нові варіанти реалізації підсистем АТК.

Достовірна оцінка оптимальності системи можлива лише після закінчення її реалізації у зв'язку з тим, що не всі фактори можна врахувати на етапі проектування. Виходом із цієї ситуації може бути лише максимально можливе урахування невизначеностей, які проявляються в процесі функціонування АТК. Тож процес створення АТК передбачає послідовність рівнів, на кожному з яких проводиться аналіз варіантів як реалізації технологічних процесів, так і систем автоматизації, насамперед інформаційного та програмного забезпечення. Отже, створення АТК — передбачає комплекс процедур (рис. 1), які виконуються ітеративно для складових АТК, що приводить до бажаного результату.

Труднощі створення ефективних АТК пов'язані також із тим, що існує кілька варіантів, серед яких необхідно обрати найкращий (оптимальний), що пов'язано

часто з суб'єктивними рішеннями та перевагами. Насамперед необхідно так обрати та розрахувати властивості технологічного об'єкта, щоб невизначеності не впливали на остаточний варіант, у тому числі програмне та інформаційне забезпечення в рамках обраної структури АТК та конкретних технічних засобів.

Відбір ефективних варіантів АТК пов'язаний з пошуком екстремуму цільових функцій, які розробляються для кожного рівня ієрархії системи. В технічній літературі описано багато методів глобальної мінімізації багатопараметричних функцій, наприклад, методи:

- багатокрокової редукції розмірності;
- глобального пошуку за кривою Пеано;
- покриття прямокутного паралелепіпеда рівними кубами;
- глобального пошуку за допомогою стохастичного автомата;
- глобального пошуку за допомогою колективу незалежних автоматів.

Для вибору варіантів АТК часто використовується метод багатокрокової редукції розмірності, який заснований на згортці послідовно вкладених одновимірних задач глобальної мінімізації (багатоекстремального пошуку). Тож прийняття рішень на фінальній стадії вибору передбачає оцінку відносної переваги кожного рішення порівняно з іншими варіантами.

Для умов харчової промисловості часто технологічні комплекси складаються з підсистем, з'єднаних послідовно за матеріальним потоком з можливими ре-циклами, наприклад, ТК цукрових заводів. Показано, що при керуванні в реальному часі коректними є задачі квазістатичної оптимізації на основі припущення про малу тривалість перехідних процесів порівняно з періодом зміни збурень, насамперед щодо якості сировини. Це надає можливість виконати декомпозицію загального показника ефективності (2) на ряд локальних задач з техніко-економічними показниками. Тоді задача оперативної оптимізації для окремої установки або технологічного процесу формулюється як визначення режимних параметрів в області допустимих обмежень:

$$F(x) \rightarrow \max, x \in E^n, \quad (4)$$

де F — функція ефективності технологічного процесу, отримана на основі (2); x — вектор координат стану, що характеризує технологічний режим; E^n — n -вимірний евклідовий простір.

Оптимізація режимних параметрів (координат стану) набуває вигляду:

$$x^{opt} = \arg \max F(x), x \in E^n. \quad (5)$$

З урахуванням якісних показників процесу (вихідних змінних для підсистеми):

$$y_{\min} \leq y \leq y_{\max}. \quad (6)$$

Коректність задачі щодо існування розв'язку, його єдності та стійкості розглядалась для ряду установок [13], при цьому застосовувались такі методи оптимізації: комплексний метод Бокса, деформованого багатогранника Нелдера-Міда тощо. Ієрархічна структура АТК базується на ієрархії підзадач керування деревовидної форми, які впорядковуються за ознакою складності, моделями підсистем і технічного забезпечення з необхідними програмними засобами. Функціональна структура системи оптимізації в АТК повинна передбачати

координацію роботи підсистеми, можливості застосування таких методів сучасної теорії керування, як адаптація, робастність, компенсація збурень і запізнь, керування з прогнозом, аналіз часових рядів тощо.

Останнім часом для розв'язання актуальної проблеми створення ефективних АТК все більше залучаються методи системної інженерії [15], яка з'явилась у результаті того, що передові технології з урахуванням підвищення рівня автоматизації спричинили ризики та зростання складності. Крім того, в ринковій економіці розробники АТК йдуть на певний ризик з урахуванням можливих наслідків, а підвищення спеціалізації фахівців викликає необхідність міждисциплінарних зв'язків і побудови зручних інтерфейсів. Також збільшується кількість публікацій у технічній літературі, присвячених використанню методів системного проектування та комплексування методів сучасної теорії керування при розробці АТК [15—17].

Висновки

1. Для створення ефективних АТК в сучасних умовах науково-технічного прогресу об'єктивно необхідними умовами для досягнення бажаного результату є системний підхід, відповідні математичні методи, положення сучасної теорії керування, комплексування прогресивних технологій, що в комплексі забезпечуються формуванням системного мислення, системної інженерії та системного проектування з використанням міжнародних стандартів і вимог сучасних технологій.

2. Зважаючи на особливості ТК харчової промисловості як об'єкта автоматизації, доцільно використовувати такі правила системної інженерії при створенні ефективних АТК:

- якщо оптимізувати лише одну з підсистем ТК, то для АТК загальний показник ефективності не буде максимальним і тоді в ієрархічній структурі АТК необхідно виділити підзадачу координації підсистем та розробити відповідні інтерфейси для обміну інформацією між підсистемами;

- у системі керування необхідно передбачити відповідні технології для можливості зміни параметрів та (чи) структури на тривалому періоді функціонування (життєвого циклу);

- при проектуванні АТК повинні бути певні інтервали для забезпечення стійкості, якості та надійності функціонування при суттєвих невизначеностях, що викликає необхідність застосування методів адаптації та робастності. В технічній літературі використовуються різні підходи, наприклад, управління інцидентами, управління проблемами, управління зверненнями тощо, що формально пов'язують різні наслідки (інциденти) з однією причиною (проблемою). Сюди варто додати також управління проектами та управління ризиками.

3. Системна інженерія як один із напрямів науково-технічного прогресу зі своїми формалізованими правилами будується на гарантованій основі класичного спрощення до конкретних проблем з певними рішеннями (розв'язками). На сьогодні вона є невід'ємною частиною формалізації вимог, процесу проектування, перевірки якості та точності виконання задач АТК. Тому важливо враховувати, що в процесі створення АТК бере участь ОПР (особа, яка приймає

рішення), що відповідає за такі показники, як рівень автоматизації, рівень формалізації, рівень деталізації опису системи.

4. Системна інженерія відрізняється від інших дисциплін тим, що розглядається система в цілому, максимально враховуються вимоги замовника та умови експлуатації; створюється та контролюється розробка концепції системи; враховуються існуючі зв'язки між традиційними інженерними дисциплінами; зменшується непорозуміння між фахівцями різних спеціальностей. Система розглядається в цілому, але в різних задачах проводять процедури декомпозиції (розбиття на окремі підсистеми) та агрегування (для утворення об'єкта з потрібними властивостями).

5. Показано, що для ієрархічних структур важливим є досягнення емерджентності за рахунок таких властивостей, яких не має жоден з елементів системи [14]. Першочергового значення набувають інтелектуальні методи, що надає можливість отримувати або оцінювати властивості системи в широкому діапазоні програмним, а не апаратним шляхом, насамперед для окремих підсистем.

6. Загальна методологія створення ефективних АТК в класі складних систем передбачає необхідність:

- виділити вимоги високого рівня та прецедентів, які з'єднують підсистеми та описують функції системи в цілому. Саме прецеденти покажуть, як буде функціонувати система, та дадуть змогу оцінити архітектуру щодо можливості підтримки найбільш імовірних сценаріїв використання;

- оцінити та забезпечити найкраще розбиття та ізоляцію функціональних можливостей у системі на основі об'єктної технології: інкапсуляції та приховування інформації, інтерфейсів за контрактом, обмін повідомленнями замість сумісного використання даних;

- розробити, якщо є можливість, програмне забезпечення АТК, а не окремих частин, кожна з яких пов'язана з окремою фізичною підсистемою. Система (програма) повинна реконструювати стан ключових елементів для прийняття рішень, розміщення (на відміну від апаратного забезпечення) вимог на обох сторонах;

- забезпечити синхронізацію станів: повинен використовуватись однаковий код для усунення впливу незначних варіацій, які є завжди в системі. При нечіткій області між двома фізичними підсистемами виникають труднощі з'єднання різних частин програмного забезпечення;

- задавати такі специфікації інтерфейсів, які здатні виконувати більше умов, ніж кількість наперед заданих (збільшується смуга частот, розробляється додатковий порт вводу-вводу тощо, інтелектуальні засоби для забезпечення простору для розширення).

Література

1. Кафаров В. В. Анализ и синтез химико-технологических систем: учебник для вузов. М.: Химия, 1991. 432 с.
2. Ладанюк А. П. Основи розробки автоматизованих технологічних комплексів в харчовій промисловості: дис. ... д-ра техн. наук (наукова доповідь): 05.13.07. Київ, НУХТ, 1993. 51с.

3. Ладанюк А. П., Трегуб В. Г., Кишенько В. Д. Управление технологическими комплексами в компьютерно-интегрированных системах. *Проблемы управления и информатики*. 2000. №. С. 72—79.
4. Ладанюк А. П., Українець А. І., Кишенько В. Д. Управління автоматизованими комплексами харчових виробництв на основі сценарного підходу. *Автоматика. Автоматизация. Електротехнічні комплекси і системи*. 2008. № 2. С. 187—196.
5. Власенко Л. О., Ладанюк А. П. Підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу цукрового заводу за рахунок використання методів діагностики та прогнозування. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2010. № 2/3(44). С. 57—62.
6. Ладанюк А. П., Шумыгай Д. А., Бойко Р. О. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа. *Международный научно-технический журнал. Проблемы управления и информатики*. 2013. № 4. С. 117—123.
7. Ладанюк А. П., Луцька Н. М., Кишенько В. Д., Власенко Л. О., Іващук В. В. Методи сучасної теорії управління: підручник. К.: Ліра-К, 2018. 368 с.
8. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія. К.: Ліра-К, 2016. 312 с.
9. Ладанюк А. П., Решетюк В. М., Кишенько В. Д., Смітюх Я. В. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія. К.: Центр учбової літератури, 2014. 280 с.
10. Прокопенко Т. О., Ладанюк А. П. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: монографія. Черкаси: Вертикаль, 2015. 224 с.
11. Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами: монографія. К.: Ліра-К, 2015. 288 с.
12. Ладанюк А. П., Смітюх Я. В., Власенко Л. О. та ін. Системний аналіз складних систем управління: навчальний підручник. К.: НУХТ, 2013. 274 с.
13. Ладанюк А. П., Перепечаєнко В. Г. Оперативное управление технологическими процессами в пищевой промышленности. К.: Урожай, 1987. 160 с.
14. Ладанюк А. П., Луцька Н. М., Кишенько В. Д., Смітюх Я. В., Шумыгай Д. А. Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 1. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23, № 4. С. 8—16.
15. Рассуждения вокруг системотехники и комментарии «Ричард Хэмминг: Глава 28. Системная Инженерия». URL: <https://habr.com/ru/post/346610/>.
16. Левенчук А. И. Системное мышление. М.: Издательские решения, 2018, 466 с.
17. OMG SysMLWebsite. URL: <http://www.omgsysml.org/>.

MANAGEMENT OF HUMAN-MACHINE INTERFACE LIFECYCLE

A. Shyshak, O. Pupena

National University of Food Technologies

Key words:

*Human-machine interface,
Best practices,
HMI design,
HMI implementation,
SCADA/HMI software*

Article history:

Received 10.04.2020

Received in revised form
29.04.2020

Accepted 18.05.2020

Corresponding author:

O. Pupena

E-mail:

pupena_san@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with the study of approaches and principles of the management of human-machine interface lifecycle. The efficiency of automated process control systems largely depends on the means of human-machine interface (HMI), which are an integral part of automated process control systems. Here the human plays a decisive role in control processes. Therefore, the correct building and maintenance of the human-machine interface has a direct impact on system efficiency. Although the operator uses the latest rapidly evolving data collection, processing and display technologies to meet the requirements for increasing the number of controlled parameters, the human (operator) ability to detect, diagnose and respond has not changed. In addition to the standard monitoring and control functions, a well-designed human-machine interface helps to commission APCS, that reduces the time and cost of starting production and changing the product. The world experience of effective lifecycle management of HMI and the rules of their building are reflected in the specialized standards, which are analyzed in the article. The reader can get acquainted with the main stages and activities of the HMI lifecycle that serve as the basis for building effective control systems.

Despite the existence of approved practices in specialized standards, there is a number of difficulties in its use due to its complexity and focus on functionally secure systems. Therefore, the authors' aim was to find a methodological solution for managing the lifecycle of HMI using SCADA/HMI, which on the one hand is based on the basic principles of modern standards, and on the other — suitable for use in most APCS that do not have special requirements. The results of the study are applied and tested practically. The article will primarily be of interest to scientists in the field of automated control and specialists involved in the design, development and operation of automated process control systems.

КЕРУВАННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ЛЮДИНО-МАШИННИХ ІНТЕРФЕЙСІВ

А. В. Шишак, О. М. Пупена

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню підходів і принципів керування життєвим циклом людино-машинного інтерфейсу. Ефективність роботи автоматизованих систем керування технологічними процесами значною мірою залежить від засобів людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ), які є складовою частиною автоматизованих систем керування. Тут людина відіграє визначальну роль у процесах керування, тому правильна побудова та супроводження людино-машинного інтерфейсу безпосередньо стосується ефективності роботи систем у цілому.

Хоч для задоволення вимог до збільшення кількості контрольованих параметрів оператором використовуються новітні технології збору, обробки та відображення даних, які стрімко розвиваються, в той же час здатність людини (оператора) до виявлення, діагностування та реагування не змінилася. Окрім стандартних функцій моніторингу та керування, розроблений людино-машинний інтерфейс допомагає на етапах пуску і налагодження АСК ТП, що обумовлює зменшення часу та затрат на запуск виробництва й зміну продукту. Світовий досвід ефективного керування життєвим циклом ЛМІ та правила їх побудови знайшли відображення у спеціалізованих стандартах, які проаналізовані у статті. Читач може ознайомитися з основними стадіями та діяльностями життєвого циклу ЛМІ відповідно до стандартів, які слугують основою для побудови ефективних систем керування.

Незважаючи на існування затверджених практик у спеціалізованих стандартах, є ряд труднощів у використанні ЛМІ, пов'язаних з його складністю та спрямованістю на великі функціонально безпечні системи, тому знайдено методичне рішення для керування життєвим циклом ЛМІ з використанням засобів SCADA/HMI, яке, з одного боку, засноване на основних положеннях сучасних стандартів стандартів, а з іншого — менш громіздке і придатне для використання в більшості АСКТП, що не мають особливих вимог. Результати дослідження мають прикладний характер і перевірені на практиці. Стаття передусім буде цікава науковцям у сфері автоматичного керування і спеціалістам, які задіяні в процесах проектування, розробки й експлуатації автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Ключові слова: людино-машинний інтерфейс, кращі практики, проектування ЛМІ, реалізація ЛМІ, програмне забезпечення SCADA/HMI.

Постановка проблеми. Автоматизована система керування технологічним процесом (АСКТП) розробляється з метою інтенсифікації ТП, зменшення ви-

трат і збільшення корисного виходу, при цьому враховується необхідність у зменшенні відсотка втручання оператора в процес керування технологічним об'єктом. Проте за будь-яких обставин участь людини залишається визначальною у прийнятті рішень, тому під час розробки АСКТП значна кількість часу приділяється розробці людино-машинного інтерфейсу. Людино-машинний інтерфейс (Human machine interface, HMI) — це набір апаратного та програмного забезпечення, яке використовується оператором та іншими користувачами для моніторингу і взаємодії з системою керування та процесом через систему керування.

Автори статті брали участь у розробці та впровадженні систем керування як в Україні, так і за кордоном. Аналіз процесів розробки та результатів роботи колег (розробників АСКТП) і спілкування на різноманітних професійних площадках дає привід сказати, що у більшості випадків керуванню життєвим циклом ЛМІ не приділяється належна увага. Причому навіть при формуванні вимог до розроблюваної системи ЛМІ може навіть не згадуватися. Це суперечить сучасним підходам до інженерії, адже організація процесів зі створення та обслуговування будь-якої системи повинна проводитися через означення її життєвого циклу (ЖЦ). Сьогодні людино-машинний інтерфейс є не просто частиною засобу керування, це складний програмно-технічний комплекс, який може розробляти інша організація. Тому однією з цілей цієї статті є донесення до читача необхідності у керуванні процесами життєвого циклу ЛМІ через формальне означення, як це робиться для будь-яких систем. Навіть якщо ЖЦ ЛМІ не відділяється від АСКТП, явне виділення процесів, що його стосуються, має ряд переваг. По-перше, такий підхід дає чітке розуміння того, що потрібно робити учаснику ЖЦ в процесі: з чого починати, що необхідно отримати на конкретному етапі розробки/експлуатації, яку послідовність дій проводити, як перевіряти результати тощо. У результаті розробка ЛМІ стає більш послідовною, проект у цілому набуває більш структурованого характеру за рахунок того, що в роботі із системою передбачаються різноманітні сценарії, полегшується її використання. По-друге, можна використовувати стандартизовані практики, що робить ці процеси ефективними, оскільки це перевірено світовим досвідом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для керування процесами ЖЦ ЛМІ використовуються стандарти ISA-101 (людино-машинні інтерфейси) [1] та ISA-18.2 (Організація функціонування систем тривожної сигналізації в переробних галузях промисловості) [2]. У цій статті коротко розглядається зміст стандарту ISA-101, тоді як з основними положеннями стандарту ISA-18.2 можна ознайомитися в іншій статті авторів [3]. Стандарт ISA-101 передбачає, що людино-машинний інтерфейс повинен розроблятися та керуватися з використанням моделі життєвого циклу, яка показана на рис. 1.

Нижче розкривається зміст діяльностей, характерних для кожної стадії життєвого циклу людино-машинного інтерфейсу відповідно до ISA-101.



Рис. 1. Спрощена модель життєвого циклу ЛМІ відповідно до стандарту ISA-101

Розробка системних стандартів — це основа, на яку спирається весь життєвий цикл ЛМІ. Системні стандарти включають: методологію, інструкцію щодо стилю, інструментарій ЛМІ. Методологія ЛМІ — це стратегічний документ, зміст якого стосується принципів проектування, розробки та експлуатації ЛМІ, максимально незалежних від використовуваної платформи. Такий документ розробляється, як правило, для всього виробничого майданчика або підприємства. Методологія ЛМІ повинна забезпечити основу концепцій, відповідно до яких нові розробники та користувачі можуть зрозуміти основні принципи й технічні обґрунтування, що дасть змогу їм ефективно створювати та підтримувати роботу ЛМІ. Після розроблення методології, згідно із стандартом, розробляють інструкції щодо стилю ЛМІ — документ, що містить заводські та/або корпоративні стандарти і вказівки щодо проектування та впровадження систем ЛМІ з використанням конкретної платформи, враховуючи її можливості й обмеження. Документ повинен деталізувати керівні принципи, визначені в методології, містити загальні принципи проектування дисплеїв і пов'язаних із ними застосунків, і слугувати стандартом для реалізації. Розроблені правила та рекомендації в інструкції щодо стилю реалізуються через інструментарій ЛМІ — сукупність елементів проектування ЛМІ для використання в межах конкретної платформи. Інструментарій ЛМІ можна створювати та модифікувати як окрему бібліотеку або розділяти на окремі набори інструментів. Основний набір повинен включати шаблони відображення, спливаючі вікна, лицьові панелі, а також статичні та динамічні графічні символи та компоненти.

Стадія проектування передбачає роботи, які передують реалізації, та такі етапи: розробка користувацьких вимог, вимог до функцій і задач; проектування консолі; проектування системи ЛМІ; проектування дисплеїв. Етап розробки користувацьких вимог, вимог до функцій і задач передбачає визначення та документування вимог цього типу, включаючи пов'язані з ними функції та користувачів (як первинних, так і вторинних). До первинних користувачів відносяться ті, хто безпосередньо відповідає за роботу устаткування, керованого з ЛМІ. До вторинних користувачів відносяться ті, хто підтримує операційну діяльність. Етап проектування консолі передбачає діяльності, пов'язані зі створенням документів щодо забезпечення мікросередовища для оператора. У сферу діяльності етапу, зокрема, входять роботи з комплектації консолі меблями, забезпечення операторів необхідними умовами роботи та відповідними робочими засобами. Етап проектування системи ЛМІ включає в себе роботи з вибору платформи для системи керування, відповідної операційної системи, а також наборів інструментарію ЛМІ. На етапі проектування дисплеїв проводиться розробка концепції побудови дисплеїв та навігації по них.

Безпосередня розробка програмного забезпечення ЛМІ проводиться на стадії реалізації, яка включає такі етапи: розробка дисплеїв; розробка консолі; тестування; навчання; введення в дію; верифікація. Розробка дисплеїв передбачає їх створення з використанням графічних об'єктів та елементів з інструментарію ЛМІ. На етапі розробки консолі потрібно проводити розробку апаратного та програмного забезпечення консолі, перевіряти кути огляду, розмішувати екран на потрібній висоті, клавіатуру, пристрої введення та інші елементи. Розроблення консолі включає встановлення та конфігурування програмного забезпечення операційної системи та системи керування. На етапі тестування слід проводити комплексні випробування ЛМІ та консолі з метою встановлення відповідності вимогам як щодо зручності використання, так і до загальних робочих характеристик. На етапі навчання проводяться тренування з розроблених дисплеїв на консолі. Етап введення в дію призначений для фінального тестування ЛМІ у виробничому середовищі. Після введення в дію, ЛМІ готова до верифікації, яка передбачає перевірку конкретних показників для прийняття системи в експлуатацію.

Після завершення введення в дію та верифікації, ЛМІ переходить до стадії експлуатації, для якої характерні такі діяльності: безпосередньо експлуатація, обслуговування та виведення з експлуатації. Під час експлуатації з регулярним плановим інтервалом повинно проводитися резервне копіювання. На етапі обслуговування можна проводити такі дії: оновлення операційної системи, оновлення програмного забезпечення системи безпеки або платформи, виправлення наявних помилок та модифікації, що відображають зміни в самому процесі або підтримку нових функціональних можливостей. Етап виведення з експлуатації — це діяльність, яка видаляє всю або частину засобу ЛМІ з експлуатації.

Окрім вище згаданих стадій, процеси яких проходять більш-менш послідовно, ISA-101 виділяє безперервні робочі процеси, які проводяться протягом усього життєвого циклу системи. До цих процесів відносяться керування змінами, аудит та перевірка правильності. Як тільки життєвий цикл ЛМІ перейшов

на етап експлуатації, всі зміни до системи рекомендується обробляти в рамках процесу керування змінами. Цей процес повинен включати виконання та дотримання системних стандартів. Аудит — це робочий процес, що забезпечує керування ЛМІ відповідно до життєвого циклу та системних стандартів. Періодичні аудити необхідно проводити для перевірки відповідності системи цим стандартам.

Вище описані основні принципи ISA-101. Осмислити їх з першого разу може бути досить складно, а застосувати на практиці, здається, взагалі неможливо. Дійсно, дотримання вимог стандарту вимагає дуже багато часу, задіяння великої кількості людей, засобів організації роботи та інших ресурсів. Для функціонально небезпечних об'єктів і в тих системах, де від рішення людини значною мірою залежить виробництво, застосування цього стандарту є бажаним. Проте для більшості об'єктів відповідність процесів та навіть моделі життєвого циклу відповідно до стандарту наразі є нереальними, оскільки вимагають задіяння великої кількості ресурсів. Є потреба в наявності методичних рекомендацій, які б увібрали в себе найбільш критичні елементи стандарту і були б простішими в реалізації. Необхідність пошуку такого рішення обумовлюється тим, що розвиватися, бути конкурентоспроможним неможливо без дотримання певної системності та стандартизованості у своїх рішеннях. Практичне застосування стандарту ISA-101 вимагає залучення великої кількості ресурсів, які недоступні під час проектування систем малої та середньої каналності (до кількох тисяч точок вводу/виводу). Крім того, стандарт зосереджується виключно на функціях ЛМІ, тоді як процеси для інших супроводжувальних функцій не входять до його сфери. Хоч частина з них, що відноситься до тривоги, означається іншим стандартом ISA-18.2, усі інші функції не розглянуті в достатній мірі.

Метою дослідження є розроблення методики керування життєвим циклом людино-машинного інтерфейсу, який, з одного боку, відповідав би стандарту ISA-101, з іншого — відносно просто застосовувався до технологічних об'єктів будь-якого розміру та складності і враховував інші супровідні функції, що входять до сучасних ЛМІ.

Викладення основних результатів дослідження. Для прикладного ПЗ SCADA/HMI пропонується застосовувати життєвий цикл людино-машинного інтерфейсу, розділений на такі стадії: розробка технічних вимог, проектування, реалізація, введення в дію, експлуатація. Така стадійність не відповідає стандарту ISA-101, тому нижче обґрунтовуються причини, за яких це зроблено.

Означення процесів кожної зі стадій залежать від прийнятих практик на підприємствах замовника та виконавця і конкретного об'єкта. Однак процеси стадії формування вимог та самі документи «Вимоги» або «Технічне завдання» мають спільні риси незалежно від ситуації, тому в статті саме цій стадії приділено найбільше уваги.

Згідно зі стандартом ISA-101, вимоги розробляються на стадіях системних стандартів та уточнюються на однойменному етапі стадії «Проектування». Така стадійність передбачає наявність на підприємстві системних стандартів, що наразі є рідше винятком, ніж правилом. Виходом з цієї ситуації є виділення

вимог в окрему стадію — розробка технічних вимог, на якій слід формувати призначення підсистеми SCADA/HMI і означувати основні вимоги до неї. Стадію можна завершувати формуванням документа «Технічні вимоги». Для розроблення технічних вимог можна скористатися структурою технічного завдання, означеного відповідно до ГОСТ 34.602-89 [4]. Згаданий ГОСТ використовують для формування технічного завдання на загальну АСКТП, хоч ЛМІ, за визначенням, є сама по собі автоматизованою системою. ГОСТ 34.602-89 недостатньо конкретизує вимоги до ЛМІ, що якраз є частиною цього дослідження. Зокрема, у вимогах до структури та функціонування доречно вказувати: структуру системи SCADA/HMI; кількість АРМ оператора, їх розміщення та умови роботи.

Вимоги до чисельності та кваліфікації персоналу можна зводити до вимог до користувачів, серед яких варто вказувати: перелік і призначення первинних та вторинних типів користувачів; набір завдань; наявність, обмеження та спосіб доступу віддалених користувачів; опис вимог до порядку адміністрування облікових записів; необхідність інтегрування облікових записів з підсистемою користувачів операційної системи; вимоги щодо обмежень доступу до ресурсів комп'ютера поза середовищем виконання SCADA/HMI; способи автентифікації користувачів; вимоги до правил авторизації.

У вимогах до надійності варто вказувати необхідність резервування частин SCADA/HMI: серверів, шляхів доступу до джерел даних, мережних компонентів тощо. У вимогах до безпеки необхідно висвітлювати всі питання, що стосуються функційної та кібербезпеки. При формуванні вимог щодо кібербезпеки SCADA/HMI варто вказувати: вимоги щодо зонування в розподіленій системі SCADA/HMI; вимоги щодо захисту мереж SCADA/HMI; вимоги щодо захисту фізичного доступу; вимоги до правил використання знімних носіїв; вимоги до доступу через периферійні порти апаратних засобів SCADA/HMI; вимоги щодо керування доступом; вимоги щодо зміцнення конфігурацій; вимоги щодо необхідності шифрування у передачі між компонентами; вимоги щодо ведення журналу доступу користувачів до елементів SCADA/HMI; вимоги до резервного копіювання; вимоги до антивірусного захисту; вимоги до оновлення ПЗ; вимоги щодо віддаленого доступу до SCADA/HMI.

Вимоги до функцій і завдань варто розділяти за функціональними підсистемами SCADA/HMI, тобто на такі групи функцій: збір та обробка даних; відображення та супервізорне керування; тривожна сигналізація; ведення журналу подій; архівування та виведення трендів; керування рецептами; керування рецептами; формування виробничих звітів; календарне планування; мультимедійна підтримка; виконання спеціальних завдань; обмін зі сторонніми БД; обмін з іншими системами SCADA/HMI; інтегрування з верхнім рівнем.

Серед загальних вимог щодо збору та обробки даних слід вказувати: перелік мережних інтерфейсів і протоколів; перелік пристроїв, з вказівкою використаних протоколів та інтерфейсів; особливості доступу до пристроїв та обмеження протоколів; необхідність резервування каналів і правила переключення між резервними каналами. Також вимоги щодо збору даних можуть стосуватися окремих змінних з/на пристроях. До кожного тегу у вимогах варто вказувати:

необхідність масштабування та реальні межі; одиниці вимірювання; використання у функціях SCADA/HMI: з вказівкою періодичності або умови оновлення; використання тільки для читання чи і для запису; можливість заміни значення форсованим значенням.

Щодо вимог до відображення та supervisory керування, то варто враховувати такі типові вимоги: вимоги до стилів; вимоги щодо ієрархічності, концепції та змісту дисплеїв; вимоги до способів і методів навігації по дисплеях; перелік об'єктів дисплеїв з означенням доступу; вимоги до наповнення та розташування елементів на дисплеях різного рівня; вимоги до типів дисплеїв; вимоги щодо використання кольорів і миготіння; правила графічного представлення технологічних процесів; вимоги до швидкості виклику та обробки дисплеїв; вимоги до методів та засобів керування; перелік графічних зображень типових об'єктів та їх поведінки; перелік графічних зображень типових лицьових панелей і спливиних сторінок, а також їх поведінки. Загалом підходи до означення цих вимог описані в стандарті ISA-101.

Наступною рекомендацією є формування вимог до підсистеми тривожної сигналізації. Як уже згадувалося раніше, ця тема детально освітлена в стандарті ISA-18.2 [2]. При аналізі цих вимог авторами статті були виділені такі типові вимоги до тривог і подій: вимоги до автоматів станів тривоги; перелік і призначення пріоритетів тривоги; перелік класів тривоги з їхніми означеннями; перелік груп тривоги; вимоги до візуальної індикації та звукового оповіщення тривоги; вимоги до функціональних можливостей дисплеїв тривоги; вимоги до функціональних можливостей конфігурування тривоги; вимоги до функціональних можливостей ведення журналу тривоги; вимоги до функціональних можливостей керування життєвим циклом підсистеми тривожної сигналізації. Серед вимог до ведення журналу подій рекомендуємо передбачати реєстрацію таких подій: технологічні події; реєстрація користувача в системі; відкриття сторінок; включення режимів «ручний»/«автомат» регуляторів і виконавчих механізмів.

Також варто звернути увагу на необхідність формування вимог до архівування та виведення трендів, серед яких для кожної технологічної змінної вказувати: призначення архівування; періодичність та глибина збереження на короткочасний період; періодичність або функції статистичної обробки та глибина запису на довготривалий період; призначення групам кривих. Варто наводити перелік дисплеїв з трендами, для кожного з яких вказувати призначення; підтип дисплею; групу кривих за замовчуванням. Слід вказувати вимоги до налаштування груп кривих або окремих дисплеїв, для яких вказувати перелік змінних для кривих; діапазон відображення; вимоги до масштабування.

Запропоновані вище вимоги до функцій, які логічно сформовані у групи. Кожна група, у свою чергу, відповідає за конкретну підсистему SCADA/HMI, які, як правило, представлені на виробництвах різного розміру. Проте, окрім уже згаданих функцій SCADA/HMI, часто виникає необхідність у використанні додаткової функціональності, яка може бути забезпечена завдяки додатковим програмним модулям тому пропонується враховувати деякі з можливих вимог до додаткових функцій. У вимогах до керування рецептами необхідно

вказувати, чи потребується в рецептах зміна процедури, яка, можливо, затребує додаткового модуля керування рецептами відповідно до стандартів ISA-88/IEC-61512. Серед вимог до виробничих звітів слід виділяти: вимоги до формату та засобів виведення звітів; вимоги до онлайн звітів; вимоги до змісту кожного типу звіту; вимоги до події генерування звіту. У переліку вимог до календарного планування можна вказувати: вимоги до необхідності врахування робочих змін; вимоги до відносного часу виконання дій; вимоги до врахування свят і вихідних; перелік дій, які необхідно виконувати за розкладом. У вимогах до мультимовної підтримки можна наводити: перелік мов, які необхідно підтримувати в ЛМІ; мова за замовченням; вимоги до формату таблиць трансляції; вимоги до об'єктів перекладу. Якщо в SCADA/HMI передбачаються якісь розрахунки, пропонується описувати їх у вимогах до виконання спеціальних завдань. Зокрема тут можна наводити: загальний опис і призначення; перелік вхідних і вихідних даних; алгоритм, діаграма, формули розрахунку; періодичність або подія, за якою повинно бути оброблене завдання; максимальний час виконання; порядок розрахунку при недостовірності даних.

До вимог до обміну зі сторонніми базами даних можна включати: загальний опис та призначення обміну з БД; опис СУБД та БД; опис можливих інтерфейсів обміну; вимоги до періодичності або події, за якою повинно бути оброблене завдання читання/запису. Вимоги до обміну з іншими системами SCADA/HMI та інтегрування з верхнім рівнем можна зводити до вказівки способу інтеграції і відомості змінних, які приймають участь в обміні.

Після розроблення технічних вимог, описаних вище, можна переходити до стадії проектування, яка передбачає проведення проектних робіт щодо розроблюваної SCADA/HMI або її частини. Слід зазначити, що це трактування не передбачає використання водоспадної моделі, воно радше означає різний характер робіт. Тобто на стадії розробки вимог можуть бути означені тільки частина вимог, після чого можна приступати до проектування. Для ЛМІ проектування великою мірою передбачає роботи з технічного забезпечення, що поєднується з однойменною стадією ЖЦ АСКТП в цілому.

Маючи відповідний набір документів щодо проектних рішень і попередньо сформовані технічні вимоги, можна перейти до стадії реалізації, яка передбачає створення програмного забезпечення для SCADA/HMI. Виділення окремої стадії введення в дію, яка не передбачається стандартом ISA-101, диктується необхідністю розділення процесів реалізації на майданчику розробника та замовника. Розробка програмного проекту для SCADA/HMI може відбуватися за різними сценаріями. Один із можливих сценаріїв розробки, який пропонується, за умови наявності у вимогах переліку тегів вводу/виводу, тривог і трендів, базується на механізмі експорту-імпорту. Спочатку списки тегів слід переводити у формат електронної таблиці, доповнювати, адаптувати під імпорт у середовище розробки SCADA/HMI. Після цього варто зробити експорт тегів у формат, підтримуваний ним, наприклад CSV або XML, та імпортувати теги в середовище розробки. Далі проводити розроблення типових дисплеїв, які слугують розробнику і налагоджувальному персоналу та надають можливість про-

водити налагодження SCADA/HMI і системи керування до розроблення експлуатаційних мнемосхем. Якщо на цьому кроці відсутня бібліотека необхідних інструментів, варто її розробляти ще до розробки основних мнемосхем, але після створення налагоджувальних дисплеїв. Далі можна розробляти дисплеї тривоги, трендів, які будуть використовуватися експлуатаційним персоналом. Розробку дисплеїв 1-го та 2-го рівня (відповідно до ISA-101) можна проводити в останню чергу, коли весь інший необхідний функціонал вже реалізовано.

Дотримуючись вказаного вище життєвого циклу, розроблене ПЗ для SCADA/HMI переходить до стадії введення в дію, яка передбачає пусконаладжувальні роботи на об'єкті та навчання персоналу. На стадії експлуатації проводиться обслуговування SCADA/HMI, що передбачає внесення певних змін у систему за необхідності. Варто забезпечити наявність експлуатаційної документації введеного в дію SCADA-проекту, яка може містити: відомість засобів; настанову з технічного обслуговування; настанову програмісту; настанову оператора/диспетчеру.

Настанова з технічного обслуговування потрібна обслуговуючому персоналу, що відповідає за систему керування. Сюди може входити: вид засобів SCADA/HMI; загальний перелік функцій, які виконує конкретний засіб; перелік додаткових експлуатаційних документів, які потребуються для кожного засобу; перелік правил безпеки, яких необхідно дотримуватися під час підготовки засобів до роботи; склад і кваліфікація персоналу, який допускається до експлуатації й обслуговування; порядок перевірки знань персоналу перед допуском його до роботи; зміст і методики перевірки працездатності засобів і правильності функціонування всієї системи; вказівка щодо дій у різних режимах; процедури резервного копіювання і відновлення системи; процедури керування конфігураціями ПЗ та прошивок; процедури розгортання ПЗ на ПК або операторській панелі; порядок і особливості налаштування засобів комунікації на рівні прикладних протоколів обміну даними. Настанова програмісту повинна включати опис проекту для спеціаліста, що буде в подальшому супроводжувати розроблений проект. Вона може складатися з окремих розділів, що відповідають структурі вибраного програмного пакета. Настанова оператора потрібна для підготовки та інструктування оператора, який є первинним користувачем системи. Настанова повинна містити повний опис інтерфейсу та функціональних можливостей SCADA/HMI. За основу загальної структури документа можна брати відмінений «РД 50-34.698-90» [5]. В описі операцій настанов варто надавати роз'яснення послідовностей дій, які виконує оператор під час запуску програми на виконання, реєстрації в системі, перемикання між викликами вікон, закінчення роботи тощо. Зокрема, слід наводити: порядок взаємодії із системою керування в усіх режимах роботи; пояснення використання підсистеми тривожної сигналізації; пояснення роботи засобів виявлення ненормальних умов керування; порядок реагування на збої в процесі або системі керування; пояснення організації навігації по дисплеям; пояснення щодо пошуку історичних даних; порядок коригування заданих значень; порядок коригування параметрів; опис процедури запуску партії або ініціювання попередньо запро-

грамованої послідовності; опис процедури запуску або припинення складного неперервного процесу; правила виявлення спеціальних умов роботи устаткування або пристрою, наприклад таких, як режим обслуговування. Цей документ повинен бути зрозумілим оператору, який пройшов первинне навчання. Також цей документ може вмішувати розділи для вторинних користувачів, які обслуговують цю систему.

Висновки

У статті запропоновано методику керування життєвим циклом людино-машинного інтерфейсу, яка, з одного боку, спрощує означену в стандарті ISA-101, з іншого — враховує процеси з функціями, які в ньому не означені. Методика включає означення процесів ЖЦ на стадіях: розробка технічних вимог, проектування, реалізація, введення в дію та експлуатація. Велика увага приділена означенню технічних вимог, які значною мірою впливають на ефективність роботи реалізованої системи. Виділення означених у результатах дослідження процесів ґрунтується на практичному досвіді, усвідомленні сучасних реалій стану виробництва переробних галузей промисловості в Україні, методів взаємодії замовників і системних інтеграторів та на дослідженнях відповідних галузевих стандартів ISA-101 та ISA-18.2.

Література

1. ANSI/ISA-101.01-2015. Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. USA: ISA standards and Practices board, 2015. С. 64.
2. ANSI/ISA-18.2-2016. Management of Alarm Systems for the Process Industries. USA: ISA standards and Practices board, 2016. С. 82.
3. Пупена О. М., Шишак А. В. Сучасні стандарти з розроблення тривожної сигналізації в автоматизованих системах керування технологічними процесами. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2019. 11(3). С. 46—58.
4. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы: межгосударственный стандарт. [Чинний до 01-01-2022]. С. 8.
5. РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов. [Не діє]. С. 21.

COMPLEX SYSTEMS STATE OVERALL ESTIMATION SYNTHESIS BY CLUSTERING METHODS

S. Chumachenko, A. Moshensky

National University of Food Technologies

I. Savitskaya, V. Smolii

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

Cluster
Soft-clustering
System state
Image
Integral estimation

Article history:

Received 20.04.2020
Received in revised form
19.05.2020
Accepted 28.05.2020

Corresponding author:

S. Chumachenko

E-mail:

sergiy23.chumachenko@
gmail.com

ABSTRACT

The object of research is the coding process of the current system overall state assessment.

The analysis of complex systems characteristics indicates systems with uncertain final state in the control process, since there are several valid options for its implementation. It was also established that the entire system and its components' states can be set by discrete integer values or brought to this form. The total number of possible states is small and pre-determined. These features indicate difficulties with methods for determining the integral estimation of the system state, since they do not allow to single out its individual components. The use of pattern recognition methods is quite complex and resource intensive.

The goal of the work is synthesis methods development for a general estimation of the complex system state with ability to control its components state. The subject of the study is codes with a separate representation of the components.

To solve this problem, we proposed cluster analysis methods that, in the applied sense, set the goal of determining the cluster number of the control object. The considered features of representing the system state and its components indicate the possibility of using soft clustering methods with grouping.

In the work, the synthesis method for a general estimation of the complex system state is proposed and considered in terms of a coal-mining combine speed control system. The use of clustering allowed the individual clusters allocation in the set of system states and the principles of grouping estimates of subsystems' state.

The conclusions of the work substantiate a high level of synthesized code adaptation for computer networks and systems.

СИНТЕЗ ОЦІНКИ СТАНУ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ МЕТОДАМИ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

С. М. Чумаченко, А. О. Мошенський

Національний університет харчових технологій

Я. А. Савицька, В. В. Смолій

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті досліджено процес кодування сукупної оцінки стану складної системи. Проведений аналіз характеристик складних систем показує, що існує ряд систем, кінцевий стан яких у процесі керування невизначений, оскільки є декілька допустимих варіантів його реалізації. Крім того, з'ясовано, що система цілком та її окремі складові знаходяться у станах, які можна задати дискретними цілочисельними значеннями або привести їх до такого виду. Загальна кількість можливих станів є невеликою та визначеною. При визначенні керуючого впливу на систему важливо також знати, який стан має кожна з складових цієї системи.

Ці особливості вказують на труднощі використання методів визначення інтегральної оцінки стану системи, оскільки вони не дають змоги виділити окремі її складові. Використання методів розпізнавання образів є досить складним та ресурсоємним, тому мета дослідження передбачає розробку методів синтезу сукупної оцінки стану складної системи з можливістю контролю стану її складових, а предметом дослідження є коди з роздільним представленням складових.

У статті запропоновано використати методи кластерного аналізу, що, у прикладному сенсі, визначають номер кластера, до якого належить об'єкт управління. Розглянуті особливості представлення стану системи та її складових вказують на можливість використання методів м'якої кластеризації з групуванням.

Запропоновано та розглянуто методику синтезу сукупної оцінки стану складної системи на прикладі системи управління швидкістю вуглевидобувного комбайна. Використання кластеризації дало змогу обґрунтувати виділення окремих кластерів у просторі стану системи та принципи групування оцінок стану складових підсистем. У висновках обґрунтовано високий рівень адаптації синтезованого коду для використання у комп'ютерних мережах і системах.

Ключові слова: кластер, м'яка кластеризація, стан складної системи, образ, інтегральна оцінка.

Постановка проблеми. У процесі створення та проектування складних виробничих систем виникають задачі ідентифікації їхнього загального стану за значеннями параметрів підсистем. Але деякі системи характеризуються невизначеним кінцевим станом або кількома можливими його значеннями. Наприклад, при вирішенні задачі вибору швидкості вуглевидобувного комбайна [1], кінцевим значенням можуть бути кілька допустимих швидкостей. Іншою особливістю є необхідність отримання дискретних значень кінцевої цільової функції

з досить обмеженого діапазону. Крім того, показники стану складових системи управління вуглевидобувним комбайном також можуть бути представлені обмеженою кількістю дискретних значень [2], наведених у табл. 1.

Таблиця 1. Дискретне представлення стану підсистем

№	Підсистеми контролю	Відповідності кодовим станам
0	Навантажений стан секції МК	0 — консоль ненавантажена 1 — нормальне навантаження 2 — перевищення навантаження
1	Потенційна енергія забою	0 — підвищена напруга масиву 1 — нормальний стан масиву 2 — небезпечна напруга масиву
2	Місце розташування комбайна	0 — наявність випередження/відставання комбайна 1 — місце розташування комбайна відповідає номеру секції кріплення 2 — невідповідність місця розташування комбайна номеру секції кріплення
3	Дані маркшейдерської і гірничо-геологічної служб	0 — небезпечна зона в площині пласта 1 — відсутність небезпечних зон 2 — небезпечна зона у кривлі забою
4	Прямолінійний рух комбайна вздовж забою	0 — наявність відхилення від прямолінійності 1 — лінія забою прямолінійна 2 — лінія забою непрямокутнісна
5	Прояв конвергенції	0 — жорстка посадка 1/3 кількості секцій з причин конвергенції 1 — жорстка посадка декількох секцій кріплення через утворення тріщин у шарах безпосередньої кривлі 2 — жорстка посадка всіх секцій кріплення через порушення «фактора часу»

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальноприйнятим підходом для визначення керуючого впливу є побудова інтегральної оцінки стану системи [3], яка визначає відхилення від її «цільового» положення у n-мірному просторі стану. Особливістю формування такої інтегральної оцінки є використання систем рівнянь та отримання кінцевого результату у форматі з плаваючою комою.

Вказані вище особливості обумовлюють недоцільність обчислення інтегральної оцінки стану системи у наведеному її розумінні. Окрім цього, на вибір швидкості впливає те, яка підсистема надає вхідний вплив. При отриманні інтегральної оцінки неможливо визначити цей показник, що призводить до необхідності аналізу декількох вхідних параметрів.

Інший підхід, який дає змогу визначити керуючий вплив за множиною вхідних значень, базується на системах розпізнавання образів. Так, наприклад, задача визначення швидкості вуглевидобувного комбайна за допомогою нейроподібних мереж розглянута у [4].

Однак загальним недоліком використання систем розпізнавання образів є їхня досить велика складність та час вирішення задачі, що є проблематичним

у задачах реального часу, до яких відноситься більшість систем, де потрібні такі рішення. Крім того, для отримання похідної інформації потрібно кілька каналів [5], що ускладнює технічну реалізацію системи. Ці положення вказують на необхідність створення таких методів представлення оцінки стану складної системи у вигляді дискретних значень, які дають змогу визначити стан складових компонентів.

Мета статті: розробка методів кодування сукупної оцінки стану складної системи адаптованої до машинного аналізу з можливістю контролю стану її складових.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є процеси кодування й аналізу стану складної системи, а предметом дослідження — коди з розділним представленням складових компонентів. Для вирішення задачі пропонується застосувати математичні підходи та методи кластерного аналізу.

Викладення основних результатів дослідження. У загальному представленні, сукупна оцінка стану складної системи визначається як функціонал $F(X)$, де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$. Кожен показник x_n визначає стан відповідної підсистеми та може приймати дискретні (цілочисельні) значення. У наведеній вище задачі визначення швидкості вугледобувного комбайна, їхнє значення можна трактувати як «норма», «допустиме» або «недопустиме» з присвоєними чисельними еквівалентами, наприклад, $p_0 = \langle 0 \rangle$, $p_1 = \langle 1 \rangle$ та $p_2 = \langle 2 \rangle$ відповідно.

Згідно з цим, усі параметри, які знаходяться в одному стані, приймають однакові значення із множини допустимих:

$$\forall x_n = \{p_0, p_1, p_2\}. \quad (1)$$

Якщо встановити однозначну відповідність між станом системи та станами її складових, то можливе потрапляння окремої складової у визначену область простору стану системи в цілому (рис. 1).

У загальному випадку, коли оцінка стану системи $F(x_n)$ та показники стану її складових x_n можуть приймати до m станів, повинно виконуватись співвідношення:

$$\|x_n\| \leq \|F_i(x_n)\| = m. \quad (2)$$

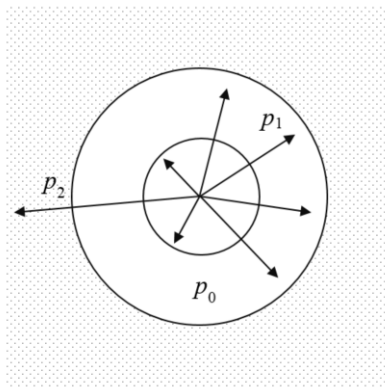


Рис. 1. Розмежування просторів стану системи

Вважатимемо, що система знаходиться у деякому k -му стані, якщо вона потрапляє в обмежену область простору значень, для якої встановлено номер k .

Введемо систему співвідношень, за якою $F_i(x_n)$ при $x_n = k$ набувають значення $i=k$ та, відповідно:

$$F_i(x_n) = F_k(x_n), \text{ при } x_n = k. \quad (3)$$

Стан системи в цілому визначимо як сукупність станів її підсистем:

$$F_i(X) = \cup F_n(x_n). \quad (4)$$

А чисельна оцінка стану системи визначається найкритичнішим значенням із параметрів її складових:

$$s = \max_n x_n. \quad (5)$$

Для представлення стану системи на основі станів підсистем, як зазначалося вище, прийнято формувати багатовимірний «образ», який можна представляти у різних формах. Для найкращого сприйняття людиною використовують декілька методів, наприклад, у вигляді пелюсткової діаграми, представленої на рис. 1, де кожний із складових виділяють окремий сектор кругової діаграми, а значення задає довжину відповідного вектора. Однак слід зазначити, що таке подання є дуже складним для машинних засобів ідентифікації, де на машинному рівні використовують найчастіше набори значень.

Для отримання машинного представлення раціонально скористатися механізмом кластеризації. За визначенням [6], «...кластер — поєднання кількох однорідних елементів, що може розглядатися самостійною одиницею, яка має визначені властивості...». Наприклад, кластери червоної, зеленої або синьої компонент (кольорові зрізи), які характеризують одну з властивостей кольорового зображення. Скориставшись цим принципом, для розглянутої задачі можна виділити кілька систем кластеризації похідної інформації — за типом підсистеми, яка її згенерувала, або за критичністю значень. У цьому разі можна виділити три кластери даних за значеннями «нормальні», «допустимі» або «недопустимі». За визначеннями, наведеними у [7], такий принцип можна віднести до кластеризації на основі групування з м'якою кластеризацією, оскільки об'єкти будуть належати цим кластерам до певної міри — доки параметри підсистеми будуть відповідати визначеним умовам.

На рис. 2 наведено модель кластерного представлення стану системи, яка характеризується множиною параметрів $\{x_1, x_2, x_3\}$, кожен з яких може набувати значення з множини $\{p_0, p_1, p_2\}$.

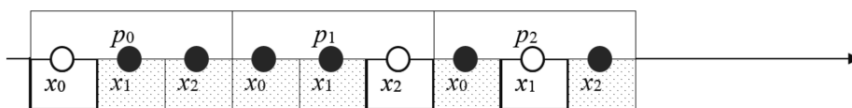


Рис. 2. Геометричне представлення оцінки стану системи

Відповідно до моделі, параметри набувають значення: $x_0 \equiv p_0$, $x_1 \equiv p_2$, $x_2 \equiv p_1$. Оцінка стану системи, згідно з формулою (5, дорівнює p_2).

Слід зазначити, що для визначення окремих складових та їхнього стану потрібно виокремлювати індивідуальні простори (дочірні кластери) для кожної складової. Кількість таких просторів у межах одного кластеру повинна дорівнювати кількості складових системи.

Перенесення наведеної на рис. 2 моделі на бінарну лінійну сітку дає найпростіший варіант кодування сукупної оцінки стану системи з довжиною коду 9 біт. При кодуванні простір, який відповідає елементу з відповідним станом (помічено у кластері білою точкою), замінюється на «1». Незайняті позиції (чорні точки) замінюються на «0». Відповідно, для сукупної оцінки стану системи отримуємо код «100001010».

Для кодування параметрів, представлених у табл. 1, потрібно 18 біт (3 кластери з 6 елементами в кожному), тобто потрібно одне машинне слово довжиною 32 біти.

Висновки

Запропонований процес кодування сукупного стану складної системи на основі м'якої групової кластеризації є інтуїтивно зрозумілим та простим і, відповідно, швидким у процесі як кодування, так і аналізу.

Кодування наведеної на рис. 2 моделі для бінарної сітки відбувається відповідно до співвідношення:

$$v_j = 2^{pi} \cdot 8^k, \quad (6)$$

де $i = 0 \dots m$ — кількість станів підсистеми — $m+1$); $k = 0 \dots n$ — кількість підсистем/параметрів — $n+1$); v_j — бінарний еквівалент положення коду стану підсистеми.

Для визначення складових, які впливають на стан системи, потрібно або послідовно накладати мазки, або скористатися зворотним механізмом від кодування за співвідношенням (6) та, використовуючи логарифмічні співвідношення, виділити відповідні компоненти.

Окремо слід відзначити гарну сумісність запропонованого методу з логічною організацією мережевого доступу у топології маркерного кільця [8], при якій кожен з абонентів (підсистема) заповнює визначене інформаційне поле мережевого повідомлення своїми даними, та використання цієї логічної організації у промислових мережах реального часу, оскільки вона забезпечує передачу даних у регламентований проміжок часу. Так, при вирішенні задачі визначення швидкості вуглевидобувного комбайна підсистема «0» заповнює «своє» поле в одному з трьох кластерів стану в повідомленні та передає його наступній підсистемі. У циклі з номером «6» повідомлення надходить до центру обробки даних, де виконується його аналіз та генерація керуючого впливу. При використанні принципу конвєсризації можна забезпечити неперервний потік актуальних даних на кожному такті, який синхронний із циклами обміну даними у комунікаційній мережі системи.

Окрім цього, запропонований метод може бути широко використаний у різноманітних системах екологічного контролю навколишнього середовища, де потрібно контролювати приналежність параметрів середовища до відповідних діапазонів, систем контролю стану ліній зв'язку або складних технічних систем [9], при реалізації сенсорних мереж систем IoT, кодуванні станів складових систем з нечіткою логікою, представленні цифрової інформації про стан ДНК у вигляді триплетів та порівнянні їх з відповідними стандартними кластерами [10].

Література

1. Ларин В. Ю., Чичикало Н.И., Федоров Е. Е, Ларина Е. Ю. Савицкая Я. А. Информационная технология безопасного управления угледобывающим комплексом на основе модели нейросетевого прогнозирования. *Уголь Украины*. 2015. № 3—4. С. 63—71.
2. Савицкая Я. А. Інформаційна технологія керування вугледобувним комплексом у небезпечних зонах: дис. на здобуття наукового ступеня к.т.н.: 05.13.06 / Черкаський державний технологічний університет. Черкаси, 2018. 148 с.
3. Савицкая Я. А. Критериальный анализ параметров системы управления добычным комбайном в условиях неопределенности. *Научная мысль информационного века — 2014: десятая международ. науч.-практ. конф., Пшемысль, 7—15 марта, 2014: тез. докл.*, 2014. С. 50—56.
4. Савицкая Я. А., Чичикало Н. И. Ларин В. Ю. Методология создания нейрореподобных структур системы оптимального управления угледобывающим комплексом в условиях неопределенности. *Уголь Украины*. 2014. № 9. С. 5—12.
5. Савицкая Я. А., Смолий В. В., Чичикало Н. И. Моделирование канала связи для передачи данных о состоянии угледобывающего забоя в Labview. IX Міжнародна науково-практична конференція, 03—05 жовтня 2018 р., м. Запоріжжя. С. 196—197.
6. Словари и энциклопедии. Кластер. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/> (дата звернення 01.11.2019).
7. Кластерний аналіз. Матеріал з Вікіпедії. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення 01.11.2019).
8. Офіційний сайт комітету стандартизації мережових протоколів. Група 802. URL: <http://www.ieee802.org/5/www8025org/> (дата звернення 01.11.2019).
9. Moshenskyi A. Private Rescue Echo Beacon On SI44XX. Тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми Інформатизації», 13 — 15 листопада 2019 року, м. Черкаси, Том 3: секції 5—7. С. 18.
10. Попель В. А., Чумаченко С. М. Інформаційна технологія для розпізнавання образів в дослідженнях структури ДНК живих організмів. Тези доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми Інформатизації», 13 — 15 листопада 2019 року, м. Черкаси, Том 3: секції 5—7. С. 19.

MUSHROOM FARM AUTOMATED CONTROL SYSTEM

P. Kachanov, O. Yevseienko

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

A. Pivnenko

Ltd. "VO OWEN"

Key words:

*Mushroom farm
Automated control system
Hardware and software
complex
Temperature and
humidity control
SCADA system*

Article history:

Received 03.04.2020

Received in revised form
17.04.2020

Accepted 13.05.2020

Corresponding author:

P. Kachanov

E-mail:

kpa@kpi.kharkov.ua

ABSTRACT

The article is devoted to mushrooms' cultivation technological processes analysis for the mushrooms' cultivation automated control system creation. Literature review shows that plenty of temperature and humidity control regulators have been created, but systems of mushroom farm as object with distributed parameters of control are studied little at the current level of development. The main problems of mushrooms' cultivation in Ukraine are considered. It is known that mushrooms' cultivation requires special conditions due to oxygen level in the air, temperature and humidity sensitivity at different stages of cultivation. It is stated that maintaining the necessary microclimate inside the mushroom cameras improves the quality of mushrooms' cultivation. The main attention is paid to description of the mushroom farm as an object of automation. Structural schemes of the microclimate control system with actuators and sensors are designed. The basic technical parameters of the mushroom microclimate are considered. The possibility of building ventilation and cultivation system control using programmable relays and programmable logic controller is shown. The necessity of using SCADA system if the number of mushroom cameras exceeds ten is described. Program and visualization requirements of the SCADA are investigated. The lists of input and output signals of air conditioning and growing chamber control are given. The whole process of cultivation and compost preparation into control systems is divided. In further studies, it is planned to apply a developed hardware and software system into technological process of mushroom cultivation. It is also planned to use the developed system for applying algorithms with prediction for temperature and humidity control.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ГРИБНОЇ ФЕРМИ

П. О. Качанов, О. М. Євсєєнко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

А. М. Півненко

ТОВ «ВО ОВЕН», м. Харків

Печериці дуже популярні у всьому світі і є комерційно важливими як у країнах Європейського Союзу, так і країнах пострадянського простору. Для культивування грибів потрібні спеціальні умови, тому що печериці чутливі до температурно-вологісного режиму, деяких захворювань, рівня кисню в повітрі на різних етапах і стадіях вирощування.

У статті розглядається проблема автоматизації процесу грибного виробництва на етапі вирощування. Обґрунтовується ідея, що підтримання необхідного мікроклімату в приміщенні дасть змогу підвищити якість вирощування грибів. Метою статті є аналіз технологічного процесу вирощування печериць для створення автоматизованої системи управління мікрокліматом грибної ферми. Особливу увагу приділено опису грибної ферми як об'єкта автоматизації. Показано можливість побудови системи керування вентиляційною установкою та процесами в приміщенні за рахунок використання програмованих реле та програмованого логічного контролера, об'єднаних в єдину мережу.

Увесь процес керування вирощуванням грибів розбито на системи, управління якими забезпечує необхідний мікроклімат. Значна увага приділяється розробці переліку вхідних і вихідних сигналів, вимог до програми та мнемосхеми оператора SCADA-системи, аналізу технологічного процесу вирощування.

Проведений огляд літератури показав, що, незважаючи на досить велику кількість регуляторів, наразі ще не створено системи для отримання параметрів та керування температурно-вологісними режимами грибної ферми як об'єктом з розподіленими параметрами.

У подальших дослідженнях планується впровадження розробленої системи в технологічний процес вирощування грибів. Також системі планується використовувати для застосування алгоритмів управління з прогнозуванням температури і вологості в приміщенні.

Ключові слова: *грибна ферма, автоматизована система керування, апаратно-програмний комплекс, керування температурою та вологістю, SCADA-система.*

Постановка проблеми. *За останні роки глобальне потепління суттєво вплинуло на якість вирощування рослин. У зв'язку зі зміною кліматичних умов відбувається перехід до штучного вирощування рослин, що забезпечить зниження залежності урожайності від природних умов.*

Україна є одним з найбільших експортерів грибів у Молдову, Білорусь і Румунію. Починаючи з 2014 р., темпи вирощування грибів щороку зростають при-

близко від 3 до 5%. Так, за даними Національного грибного агентства UMDIS, експорт печериць в Україні за 2017 р. виріс у 50 разів, якщо порівняти з 2016 роком. У 2018 р. експорт грибів збільшився ще вдвічі. Разом з експортом зростає обсяг і культура споживання грибів в Україні.

Автоматизація відіграє величезну роль у сільському господарстві. Використання датчиків і виконавчих механізмів дає змогу створити штучні умови вирощування будь-якої сільськогосподарської культури в країнах, в яких вона природним чином не росте.

Вирощування грибів вимагає особливого мікроклімату. Невідповідна температура, вологість, рівень світла і циркуляції повітря призводить до різних хвороб, наприклад, утворення цвілі або появи грибних мошок. Так, вирощування глив на різних етапах вимагає температури від 22°C до 28°C і вологості від 70% до 90%.

В Україні відсутні нормативні документи, що регулюють технічні умови вирощування грибів, але існують вимоги до якості ґрунту для вирощування печериць [1]. У країнах ЄС і РФ такі нормативні документи є, наприклад, у РФ діє документ з технічними умовами [2].

Переважно на грибних фермах вирощують гриби в приміщеннях без автоматизації. Вологість, температура, рівень CO₂ контролюються оператором вручну, тому більшість систем опалення, кондиціонування й устаткування телефонного дрютяного зв'язку має дуже неточне автоматичне керування. Як відомо, гриби чутливі до коливань температури і вологості. Зміна температури всього на півградуса, а вологості на кілька відсотків може мати серйозний вплив на їхній ріст і розвиток. Для досягнення максимальної продуктивності на грибній фермі потрібні вимірювання вологості, температури і CO₂ залежно від стадії зростання та автоматизоване управління.

Розвиток грибовництва як галузі залежить від стану сільського господарства, рівня автоматизації, нормативної бази. Україна має достатній потенціал зростання і перспективи розвитку грибовництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3; 4] представлена розроблена автоматизована система на базі контролера Arduino з використанням мобільного додатка для відображення поточних і задання оперативних параметрів. Недоліком цієї системи є використання контролера без корпусу, низька фонові стійкість. У [5—7] розглядаються системи управління температурою грибної кімнати з використанням ПД-регулятора, нейронних мереж, фазі-логіки. Однак такі системи розглядають грибно ферму як об'єкт із визначеними параметрами і не враховують параметри об'єкта управління (час перехідних процесів об'єкта, час транспортного запізнювання). У [8] пропонується система управління на базі ПЛК, проте не наводиться перелік сигналів, не обґрунтовується вибір датчиків, не описується система.

Метою дослідження є створення системи автоматизованого управління для підтримки оптимального мікроклімату в грибних камерах для якісного вирощування печериць або інших екзотичних видів грибів: оперативний збір, зберігання й обробка інформації про стан виконавчих механізмів і датчиків — для

візуалізації оператора, подальшого аналізу, підвищення безпеки та поліпшення якості технологічного процесу.

Викладення основних результатів дослідження. Об'єктом автоматизації є грибна ферма. До її складу входять приміщення (рис. 1) для вирощування грибів, технологічні приміщення і коридори. Приміщень для вирощування грибів, як правило, кілька десятків штук. Кожне приміщення розраховане на певну масу завантаженого в нього компосту — від 10—20 до 40—60 тонн. У приміщенні для вирощування грибів (в кілька поверхів) розміщені полиці (стелажі) з компостом. Компост — це суміш соломи, курячого посліду і гіпсу. Зверху компост покритий торфом. До завантаження компост проходить етапи вирівнювання, підігріву, пастеризації, охолодження, кондиціонування, посіву міцелію.

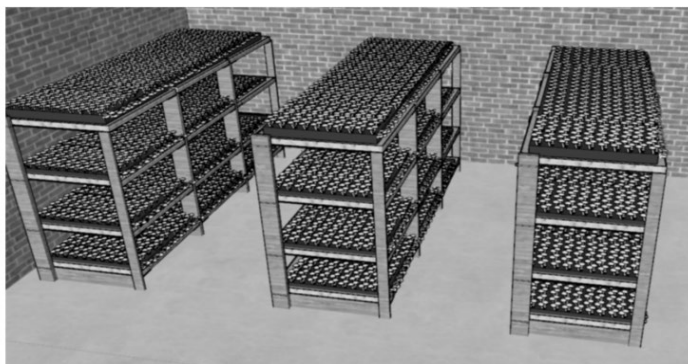


Рис. 1. Зовнішній вигляд кімнати для вирощування грибів

Також у приміщенні (рис. 2) розташовані: витяжний вентилятор і/або витяжні отвори, датчики температури компосту, датчики температури і вологості повітря, датчик вуглекислого газу, повітроводи, отвір під рециркуляцію повітря, лампи освітлення, датчик освітленості.

Перед приміщенням зверху розміщена вентиляційна (кліматична) установка. У неї входять: заслінка свіжого повітря, заслінка рециркуляційного повітря, охолоджувач, клапан холодної води, нагрівач, клапан гарячої води, вентилятор припливний, вентилятор витяжний, датчик температури повітря після охолодження, датчик температури повітря після нагріву, зволожувач і клапан управління зволожувачем, датчик температури припливного (свіжого) повітря. У коридорі розміщені також блоки управління, силові блоки, датчики перепаду тиску. Зовні грибної ферми розташовані датчики температури і вологості повітря, а також датчик рівня CO_2 .

У процесі моніторингу й управління мікрокліматом в одній камері вирощування грибів необхідно вимірювати і контролювати показання різних датчиків: температури повітря, температури компосту, вологості повітря, рівня CO_2 в приміщенні, температури і вологості повітря зовні ферми, температури повітря у вентиляційній установці, перепаду тиску повітря в приміщенні, а також управляти виконавчими механізмами.

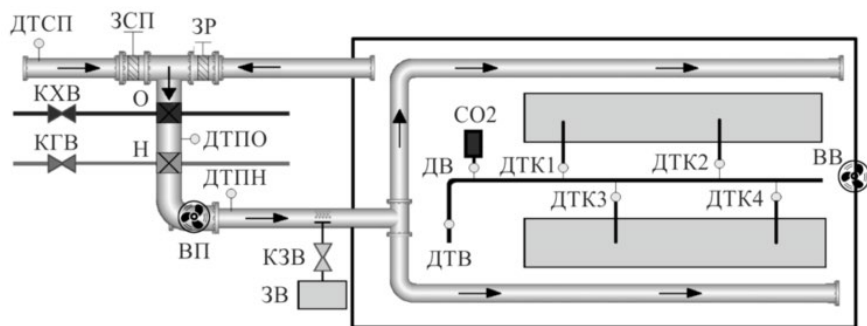


Рис. 2. Структурна схема грибної ферми з виконавчими пристроями та датчиками:

ДТСП — датчик температури свіжого повітря; ЗСП — заслінка свіжого повітря; ЗР — заслінка рециркуляційного повітря; КХВ — клапан холодної води; КГВ — клапан гарячої води; О — охолоджувач; Н — нагрівач; ДТПО — датчик температури повітря після охолодження; ДТПН — датчик температури повітря після нагріву; ВП — вентилятор припливний; КЗВ — клапан управління зволожувачем; ЗВ — зволожувач; CO₂ — датчик вуглекислого газу; ДВ — датчик вологості повітря; ДТК1 — датчик температури компосту 1; ДТК2 — датчик температури компосту 2; ДТК3 — датчик температури компосту 3; ДТК4 — датчик температури компосту 4; ВВ — вентилятор витяжний; ДТВ — датчики температури повітря

Під час росту грибів у камері проходять фази проростання міцелію в покривний ґрунт, відновлення після розпушування, охолодження до температури початку плодоутворення, плодоутворення, плодоношення, а після збору врожаю — термообробки та очищення камер.

Урожай грибів збирають хвилями. Перша хвиля забезпечує до 50% урожаю від усього обсягу, друга — до 30—35%, якщо є необхідність, то збирають третю. Однак чим більше хвиль, тим більше знижується якість грибів, зростає ймовірність забруднення грибів хворобами.

Для кожної фази підготовки компосту або вирощування міцелію слід розробити методи регулювання таких систем:

1. Система управління температурою компосту (міцелію) і температурою повітря.

Температура міцелію за весь період вирощування (21 день) задається у вигляді залежності температури від дня вирощування. Поточна задана температура повітря в камері (T_n) обчислюється, виходячи із заданої для поточної доби фази вирощування температури компосту (T_k) за формулою:

$$T_n = T_k - T_3, \quad (1)$$

де T_3 — температура зсуву, що задається оператором.

Регулятор температури повітря повинен працювати в режимах нагрівання, охолодження або в комбінованому режимі. Нагрівання повітря в камері проводиться нагрівачем, а охолодження повітря проводиться холодильною установкою або свіжим повітрям.

2. Система управління рівнем CO₂.

Контролер веде вимір рівня концентрації вуглекислого газу. Якщо рівень CO₂ перевищує встановлене значення «макс. CO₂», відкривається заслінка пода-

чі свіжого повітря. Заслінка закривається при зниженні концентрації CO₂ нижче за мінімальне значення.

3. Система управління відносною вологістю.

Необхідний рівень відносної вологості визначається поточною стадією вирощування грибів. Збільшення вологості повітря в камері проводиться зволожувачем кліматичної установки. Зволожувач включається, коли виміряна вологість нижче ніж задана і вимикається, коли вона вище за задану з урахуванням гістерезису. Зменшення вологості повітря можливе завдяки надходженню свіжого повітря, якщо рівень абсолютної вологості на вулиці дає змогу використовувати свіже повітря для осушення.

4. Система управління свіжим повітрям.

Величина відкриття заслінки свіжого повітря для зниження вологості або концентрації CO₂ в камері вирощування грибів залежить від температури зовнішнього повітря. Чим більше відхилення температури зовнішнього повітря від необхідної температури повітря в камері вирощування грибів, тим менший відсоток відкриття заслінки.

5. Система управління вентилятором.

Припливний вентилятор у кліматичній установці може працювати в постійному режимі або в режимі регулювання частотним приводом. Він використовується для вирівнювання температури в камері вирощування.

6. Система управління змішаним повітрям.

Система управління змішаним повітрям потрібна, коли температура зовнішнього повітря менше ніж заданий рівень, але її можна підвищити за рахунок використання повітря з камери вирощування без включення нагрівача.

Виходячи з технологічного процесу, перелік сигналів можна розділити на сигнали управління кліматичною установкою (табл. 1) та управління мікрокліматом у кімнаті з грибами (табл. 2). У таблицях аналогові вхідні сигнали позначаються AI, аналогові вихідні сигнали — AO, дискретні вхідні сигнали — DI, дискретні вихідні сигнали — DO.

Таблиця 1. Перелік вхідних/вихідних сигналів управління кліматичною установкою

Призначення	Сигнал	Тип сигналу
1	2	3
Датчик температури припливного повітря	PT1000	AI
Датчик температури повітря після нагріву	PT1000	AI
Датчик температури повітря після охолодження	PT1000	AI
Датчик рівня концентрації CO ₂ зовнішнього повітря	4—20 мА	AI
Датчик температури зовнішнього повітря	PT1000	AI
Датчик вологості зовнішнього повітря	4—20 мА	AI
Заслінка свіжого повітря	0—10 В	AI
Заслінка рециркуляційного повітря	0—10 В	AI
Охолоджувач кліматичної установки	0—10 В	AI
Нагрівач кліматичної установки	0—10 В	AI

Продовження таблиці 1

1	2	3
Клапан керування зволожувачем	0—10 В	АІ
Заслінка свіжого повітря	0—10 В	АО
Заслінка рециркуляційного повітря	0—10 В	АО
Охолоджувач	0—10 В	АО
Клапан керування зволожувачем	0—10 В	АО
Нагрівач	0—10 В	АО
Вентилятор припливний	«СК»	ДО
Вентилятор витяжний	«СК»	ДО
Зволожувач	«СК»	ДО
Робота припливного вентилятора	«СК»	ДІ
Робота витяжного вентилятора	«СК»	ДІ
Робота зволожувача	«СК»	ДІ
Аварія припливного вентилятора	«СК»	ДІ
Аварія витяжного вентилятора	«СК»	ДІ
Аварія зволожувача	«СК»	ДІ

Таблиця 2. Перелік вхідних/вихідних параметрів управління в камері вирощування

Призначення	Сигнал	Тип сигналу
Датчик температури повітря в камері (сухий)	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 1	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 2	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 3	PT1000	АІ
Датчик температури компосту 4	PT1000	АІ
Датчик вологості повітря в камері (вологий)	PT1000	АІ

На підставі обраного обладнання складена структурна схема підключення (рис. 3).



Рис. 3. Структурна схема системи управління мікрокліматом

За складеним переліком сигналів пропонується розподілена система управління. У кожному приміщенні встановлюється програмоване реле ПР200 з модулями розширення ПЗМ. Далі всі програмовані реле об'єднуються в загальну

мережу RS-485 для підключення до сенсорного панельного контролера ОБЕН СПК110 [M01], на якому відображаються поточні параметри і задаються настройки регулювання. Мережею Ethernet дані передаються на персональний комп'ютер зі SCADA-системою.

Оскільки кількість грибних камер на одній фермі може перевищувати десяток, при розробці системи управління також застосовуються SCADA. Для зручності збору, обробки та зберігання інформації використовуються SCADA-системи. За допомогою SCADA-системи (рис. 4) можна контролювати оперативні параметри, поточний стан виконавчих механізмів у реальному масштабі часу. Мнемосхема роботи оператора представлена на рис. 4.

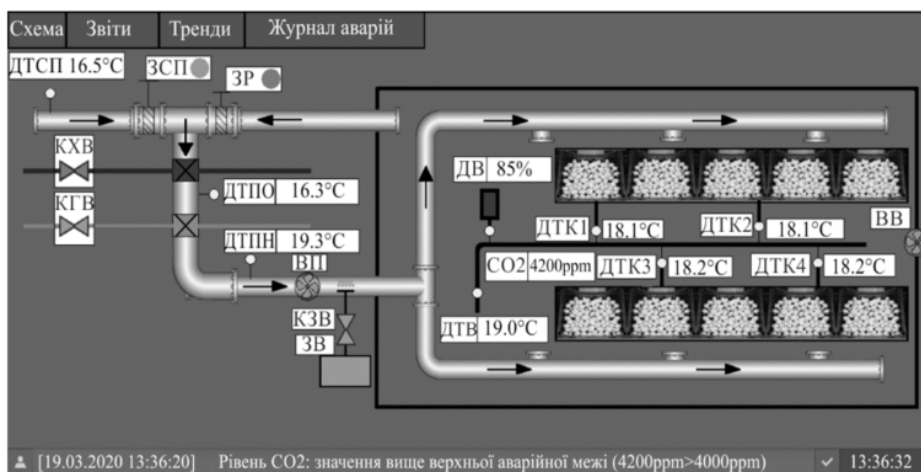


Рис. 4. Мнемосхема SCADA-системи

Вимоги, що висуваються до SCADA-системи управління мікрокліматом грибної ферми:

1. Отримання даних про стан датчиків і виконавчих механізмів, аварійні події в реальному масштабі часу.
2. Можливість віддаленого управління виконавчими механізмами.
3. Архівування даних із заданою періодичністю і точністю.
4. Задання діапазонів регулювання, мінімальних і максимальних значень параметрів і коефіцієнтів для законів регулювання.
5. Підрахунок загального часу роботи виконавчих механізмів.
6. Час оновлення значень параметрів на графічних екранах не повинен перевищувати заданої установки.
7. Побудова графіків температури, вологості, рівня CO₂.
8. Ведення журналу аварійних подій.
9. Відправлення СМС/Push повідомлень на мобільний пристрій оператору про аварійні ситуації.
10. Розмежування доступу до налаштувань системи за рахунок створення рівнів доступу.

Висновки

У результаті проведеного дослідження описано роботу типової грибної ферми як об'єкта автоматизації, опції й типовий процес вирощування грибів. Складено перелік основних вхідних/вихідних сигналів кліматичної установки та камери вирощування грибів, що дало змогу сформувавши вимоги до системи керування та SCADA-системи, зробити підбір датчиків і контролера. У подальших дослідженнях планується запровадити розроблену систему керування для дослідження алгоритмів керування з прогнозуванням температури й вологості в камері вирощування та кліматичної установки як об'єкта з розподіленими параметрами.

Література

1. Якість ґрунту. Ґрунт для культивування грибів шампінйонів покривний. Основні вимоги: ДСТУ 7931:2015. URL: <http://epicentre.com.ua/DSTU-7931-2015-nrm27659.html>.
2. Грибы шампиньоны свежие культивируемые. Технические условия: ГОСТ Р 56827-2015. URL: https://allgosts.ru/67/080/gost_r_56827-2015.
3. Sihombing P., Astuti T., Herriyance P., Sitompul D. Microcontroller based automatic temperature control for oyster mushroom plants. *Journal of Physics: Conference Series*. Medan, Indonesia, 2018. Vol. 978: 2nd International Conference on Computing and Applied Informatics, 28—30 November 2017. DOI: 10.1088/1742-6596/978/1/012031.
4. Marzuki A., Ying S. Y. Environmental monitoring and controlling system for mushroom farm with online interface. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*. 2017. Vol. 9, No 4. P. 17—28.
5. Kaewwiset T., Yodkhad P. Automatic temperature and humidity control system by using Fuzzy Logic algorithm for mushroom nursery. *International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*. Chiang Mai, 2017. P. 396—399.
6. Gajbhiye D., Kavita J., Mekala M. A Survey on Temperature & Humidity Control by Using Neural Network for Oyster Mushroom Cultivation. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7, No 3. P. 2574—2579.
7. Utama Y. A. K., Hari Y. Design of PID disturbance observer for temperature control on room heating system. *Proceeding of the 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2017)*. 2017. Vol. 4. P. 550—555.
8. Dawande N. A., Rode S., Shelke S. K. Automatic monitoring and controlling system using plc for mushroom plant. *International Journal of Research Publications in Engineering and Technology [IJRPET]*. 2017. Vol. 3, No 7. P. 92—95.

PECULIARITIES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURE OF PROBIOTIC PREPARATION ON THE BASIS OF LACTOBACILLI

V. Cherepanskyi, N. Hrehirchak

National University of Food Technologies

Key words:

*Domestic probiotics
Lactobacilli
Technological process*

Article history:

Received 01.04.2020
Received in revised form
16.04.2020
Accepted 13.05.2020

Corresponding author:

V. Cherepanskyi

E-mail:

cherepanskyi@ukr.net

ABSTRACT

Probiotics are widely used at the pharmaceutical market of Ukraine. However, foreign-made drugs occupy almost the entire market. Therefore, the production of domestic probiotics is an urgent task, as their important advantage is the adaptability of strains of microorganisms to the Ukrainian population.

For the production of effective and high-quality probiotic preparations, a careful selection of all technological operations is required, which would ensure the maximum number of viable and stable bacterial cells for long-term storage. During the development of the drug production process, particular attention is paid to understanding the production steps associated with the production of probiotics on a commercial scale. Each stage of the process depends on the previous stage, and it is important to pre-determine the possible negative factors that can affect the probiotic bacteria and try to maintain the total number of viable cells by continuing the production process at the next stages.

The most optimal technological scheme for the production of probiotic preparation includes: the cultivation step, the separation of biomass from the culture fluid, the step of adding protective medium to the resulting biomass, the stage of drying, grinding and sieving the dried biomass, and the stage of packaging.

The analysis of the data showed that at the stage of biomass separation the most effective is the use of the method of separation, at the stage of drying — the method of freeze drying, and at the stage of grinding — the use of a method that involves the use of roller crusher. When analyzing the different combinations of protective media used at the stage of bacterial biomass stabilization, the most effective one is the medium containing skimmed milk powder (6%), sucrose (8%) and gelatin (4%). This protective medium is added in a ratio of 2:1 (bacterial biomass: protective medium). At the packaging stage the most effective primary packaging is the sachet.

It should be noted that the equipment used in the production processes and the conditions under which these processes must meet the requirements of GMP, because in modern conditions, the production of competitive products with the highest quality is not possible without observing these requirements.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-3-7

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОБІОТИЧНОГО ПРЕПАРАТУ НА ОСНОВІ ЛАКТОБАЦИЛ

В. В. Черепанський, Н. М. Грегірчак

Національний університет харчових технологій

На фармацевтичному ринку України лікарські пробіотичні препарати представлені досить широко. Однак препарати зарубіжного виробництва займають майже весь ринок, тому виробництво вітчизняних пробіотиків є актуальним завданням, адже їхньою важливою перевагою є адаптивність штамів мікроорганізмів до української популяції населення.

Для виробництва ефективних та якісних пробіотичних препаратів необхідним є ретельний вибір усіх технологічних операцій, які б забезпечили отримання максимальної кількості життєздатних і стабільних при тривалому зберіганні клітин бактерій. Під час розробки процесу виробництва препарату особлива увага приділяється розумінню виробничих етапів, пов'язаних з виробництвом пробіотиків у комерційних масштабах. Кожен етап процесу залежить від попереднього етапу, тому важливо проаналізувати та визначити можливі негативні фактори, що можуть вплинути на клітини бактерій, і намагатися підтримувати загальну кількість життєздатних клітин, продовжуючи процес виробництва на наступних етапах.

Найбільш оптимальна технологічна схема виробництва пробіотичного препарату включає: стадію культивування, відокремлення біомаси від культуральної рідини, стадію додавання захисного середовища до отриманої біомаси, стадію сушіння, подрібнення та просіювання висушеної біомаси, стадію фасування, пакування та маркування цільового продукту.

Аналіз даних показав, що на стадії відокремлення біомаси найбільш ефективним є застосування методу сепарування, на стадії сушіння — методу ліофільного висушування, а на стадії подрібнення — методу, який передбачає використання вальцевої дробарки. При аналізі різних комбінацій захисних середовищ, що використовуються на стадії стабілізації біомаси бактерій, найбільш ефективним визначено середовище, що містить сухе знежирене молоко (6%), сахарозу (8%) та желатин (4%). Таке захисне середовище додається у співвідношенні 2:1 (біомаса бактерій:захисне середовище). На стадії пакування найбільш ефективною первинною упаковкою обрано багатошаровий пакетикувальний матеріал.

Слід відмітити, що обладнання, яке використовується при проведенні виробничих процесів, та умови, в яких проводяться ці процеси, повинні обов'язково відповідати вимогам GMP, адже в сучасних умовах виробництво кон'югатованих препаратів з найвищою якістю без дотримання вимог неможливе.

Ключові слова: вітчизняні пробіотики, лактобацили, технологічний процес.

Постановка проблеми. Для того, щоб пробіотичний препарат позитивно впливав на організм людини, необхідним є забезпечення відповідної кількості життєздатних клітин, що зазначена на упаковці, та їхньої стабільності протягом

усього терміну зберігання. Оскільки клітини пробіотичних мікроорганізмів, зокрема лактобацили, є дуже чутливими до дії зовнішніх факторів (температура, кисень, механічний вплив тощо) [1; 2], питання правильного вибору технологічних етапів виробництва є досить важливим. Адже від того, яка саме технологічна операція введена у виробничий процес, залежить якість та ефективність препарату на виході.

Не менш важливим є вибір методики проведення технологічного процесу тому, що саме від того, як буде проводитись операція, залежить не тільки кількість готового препарату в кінці виробничого циклу, а й ступінь впливу зовнішніх факторів на бактеріальні клітини.

Метою статті є обґрунтування оптимальних технологічних етапів виробництва пробіотичного препарату на основі лактобацил і методик їх проведення задля збереження максимальної кількості живих клітин.

Викладення основних результатів дослідження. На відміну від звичайних лікарських засобів, виготовлення пробіотичних препаратів пов'язане з культивуванням мікроорганізмів, які виступають у ролі активного фармацевтичного інгредієнта (далі АФІ) [3]. У зв'язку з цим технологічний процес виробництва препарату розпочинається з отримання біомаси пробіотичних бактерій, зокрема процесу культивування.

Пробіотичні препарати містять живі клітини мікроорганізмів, адаптовані до певних умов існування, тому досить сильно реагують на їхню зміну. Симбіотична мікрофлора людей, які проживають у регіонах з різними кліматичними умовами, раціонами харчування, не є абсолютно однаковою, тому при розробці препарату слід враховувати тісну взаємодію між мікрофлорою людини та екзогенним мікробним світом.

Найбільш високу ефективність проявляють пробіотики, основу яких складають «місцеві» штами мікроорганізмів, тому принциповою перевагою вітчизняних пробіотиків є адаптованість штамів мікроорганізмів, які в них використовуються, до української популяції населення [4]. Порівняльний аналіз штамів *L. plantarum*, які можуть бути використанні для виготовлення пробіотичного препарату, наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Особливості одержання пробіотику за використання різних штамів *L. plantarum*

Штам молочнокислих бактерій	Середовище для культивування, г/л	Тривалість культивування	Концентрація клітин, КУО/мл	Література
1	2	3	4	5
<i>L. plantarum</i> 38	1. Дріжджовий екстракт — 5,0; 2. М'ясний екстракт — 10,0; 3. Гідролізат казеїну — 10,0; 4. Глюкоза — 20,0; 5. Твін 80 — 1,0; 6. Ацетат натрію — 5,0; 7. Цитрат амонію — 2,0;	24	1,5·10 ⁸	[5]
<i>L. plantarum</i> 337Д УКМ В-2627	8. K ₂ HPO ₄ — 2,0; 9. MgSO ₄ ·7H ₂ O — 0,2; 10. MnSO ₄ ·4H ₂ O — 0,05.		1·10 ⁹	[6]

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
<i>L. plantarum</i> T5jq301796.1	11. Глюкоза — 25,96; 12. Дріжджовий екстракт — 18,4; 13. Na ₃ PO ₄ — 0,2; 14. K ₂ HPO ₄ — 0,2; 15. MgSO ₄ ·7H ₂ O — 0,01; 16. Твін 80 — 1,0; 17. Вітамінний розчин — 1,0 мл	24	1,25·10 ¹⁰	[7]

Попри високу продуктивність штаму *L. plantarum* T5jq301796, його використання є доволі небезпечним, адже штам є генномодифікованим [7]. У зв'язку з цим існує ризик переносу генів між лактобактеріями та біфідобактеріями, які населяють травний тракт, і можливість генетичних штамів молочнокислих бактерій змінити всю мікробну екологію травного тракту непередбачуваним чином [8]. Також ризик використання ГМ-пробіотиків пов'язаний зі стійкістю та поширенням цих інженерних пробіотиків у зовнішньому середовищі, що спричинить непередбачувані зміни в ньому [9].

Для виготовлення вітчизняного пробіотику пропонується використовувати штам *Lactobacillus plantarum* 337Д УКМ В-2627 Української колекції культур мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України (УКМ). Цей штам виділено із шлунково-кишкового тракту людей-довгожителів у 1978—1981 рр. під час міжнародної геронтологічної експедиції до високогірних селищ Абхазії — регіону з високим рівнем довголіття. Штам володіє пробіотичними властивостями та характеризується високою біологічною активністю [6].

На етапах культивування необхідним є підбір оптимального складу поживного середовища та умов проведення процесу культивування (температури, рН, відсутність кисню, тривалість культивування тощо), адже від цього залежить рівень біомаси та кількість живих клітин у кінці етапу. Бактерії роду *Lactobacillus* відносяться до мікроорганізмів, які мають складні потреби у поживних речовинах. Для їхнього активного розвитку потрібна наявність речовин, необхідних для побудови бактеріальної клітини (нуклеїнових кислот, полісахаридів, аміноцукрів тощо). Також для росту молочнокислих бактерій необхідні органічні форми азоту, які вони самі не синтезують. Багатьом видам лактобацил для розвитку необхідні вітаміни. Цим пояснюється значний вплив на їхній ріст додавання до живильного середовища різних екстрактів (наприклад, дріжджового, кукурудзяного), а також інших сполук. З численних поживних середовищ, що застосовуються при культивуванні молочнокислих бактерій, найкращими є ті, що збалансовані за азотним, вуглеводним та вітамінним складом і містять всі необхідні поживні та стимулюючі речовини у формі, що легко засвоюється мікроорганізмами [1].

Для штаму *Lactobacillus plantarum* 337Д УКМ В-2627 оптимальним поживним середовищем для культивування є середовище MRS, адже це середовище багате на поживні речовини і ростові фактори: містить дріжджовий і м'ясний екстракти, глюкозу, пептон, ацетат натрію, цитрат амонію і твін-80 — джерело жирних кислот, необхідних для метаболізму лактобактерій. Тривалість культивування штаму складає 24 год; температура, за якої здійснюється культивування, становить 37°C; оптимальне значення рН — 7,0 [6].

Після процесу біосинтезу, отримана культуральна рідина складається із залишків компонентів поживного середовища, метаболітів і біомаси молочнокислих бактерій. З огляду на це необхідним етапом є відокремлення біомаси від культуральної рідини, адже залишки компонентів поживного середовища та метаболіти можуть погіршити якість готового препарату.

Стадії збору як для видалення клітин або клітинних компонентів, так і для збору клітинних компонентів після руйнування слід здійснювати за допомогою обладнання та в зонах, призначених для зведення до мінімуму ризику контамінації.

Обладнання для процесу відділення біомаси має бути сконструйоване таким чином, щоб поверхні, які контактують із сировиною, не змінювали характеристики АФІ понад межі, встановлені в офіційних або інших специфікаціях. Також, зокрема при виробництві пробіотичного препарату, обладнання повинно мінімально впливати на активність, цілісність клітин і кількісний склад бактерій, які підлягають відділенню від культуральної рідини [10].

На сьогодні застосовуються такі методи відокремлення біомаси бактерій від культуральної рідини: фільтрація, флоатація, центрифугування та сепарація.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика різних методів відділення біомаси

Назва методу	Принцип відділення	Переваги використання	Недоліки використання	Література
1	2	3	4	5
<i>Фільтрація</i>	Процес відділення твердої фази від рідкої здійснюється шляхом проходження суспензії через фільтруючий матеріал або через полімерну сітку з відповідним діаметром отворів	Є менш енергоємним	Великі втрати біомаси за рахунок проходження частини клітин через пори фільтруючого матеріалу	[11]
<i>Флоатація</i>	Виділення з рідких середовищ твердих часток або часток іншої рідини здійснюється за допомогою продування крізь неї газу	Економічність, висока продуктивність і можливість використання в безперервних процесах	Великі втрати біомаси	[12]
<i>Центрифугування</i>	Процес розділення суспензій на рідку і тверду фази здійснюється під дією відцентрових сил, при цьому суспензія проходить через фільтрувальну тканину або через металеву сітку з одночасним затриманням твердої фази	Можливість автоматизувати процес. Спостерігаються менші втрати біомаси порівняно з фільтрацією та флоатацією	Менша ефективність порівняно із сепаруванням	[13]
<i>Сепарування</i>	Процес розділення суспензій на рідку і тверду фази здійснюється під дією відцентрових сил, при цьому суспензія проходить через міжтарілчастий простір сепаратора	Можливість автоматизувати процес. Спостерігаються менші втрати біомаси порівняно із фільтрацією та флоатацією, більша ефективність порівняно з центрифугуванням	Порівняно вищий механічний вплив на клітини	[14]

Аналіз даних (табл. 2) показав, що найбільш ефективним методом відокремлення біомаси від культуральної рідини є метод сепарування. Перевагами методу сепарування є:

- менші втрати біомаси порівняно з фільтруванням та флотацією;
- можливість автоматизувати процес;
- більша ефективність порівняно з центрифугуванням.

Важливим етапом технологічного процесу виробництва пробіотичних препаратів є стабілізація біомаси бактерій після процесу відділення від культуральної рідини з метою захисту клітин від значних змін в їхній структурі на наступних етапах, що можуть супроводжуватись руйнуванням клітин і втра-тою життєздатності. При цьому забезпечується стабільність клітин не тільки з точки зору життєздатності, але й з точки зору метаболічної та функціональної активності для підтримки бажаних сенсорних властивостей і забезпечення заявленої користі пробіотичних препаратів для здоров'я протягом усього терміну зберігання [15].

У промисловості найчастіше для стабілізації біомаси застосовують комбіновані захисні середовища, що містять сахарозу, лактозу, цитрат, глютамат натрію, знежирене молоко, сироватку з додаванням різних вуглеводів, багатомі-номних спиртів і солей. Захисні середовища запобігають пошкодженню клітин під час наступних етапів виробництва, зокрема процесу сушіння. Оскільки кінцевою формою препарату є висушений порошок, клітини необхідно захистити від впливу низьких і високих температур у процесі сушіння. Кріопротектори та ліопротектори (речовини, які входять до захисного середовища) уповільнюють швидкість росту льоду за рахунок збільшення в'язкості розчину та стабілізують ліпідну двошарову структуру клітинної мембрани за відсутності води [16].

Біомасу також стабілізують нетрадиційними способами, наприклад, іммобілізацією клітин у гелі гідроксиду алюмінію та ацетилфталіцилцелюлози. Цей технологічний спосіб забезпечує високий ступінь життєздатності мікроорганізмів під час зберігання і дає змогу вилучити з технологічного процесу сублімацію, що значно скорочує енергетичні та економічні витрати. Недоліком цього способу є можливість обробки невеликих кількостей утвореної культуральної рідини та достатньо складна організація процесу [17].

Аналіз способів стабілізації біомаси бактерій підтвердив, що найбільш економічно доцільним і дієвим є додавання захисного середовища, яке містить кріо- та ліопротектори.

Дисахариди, такі як сахароза і трегалоза, є прекрасними ліопротекторами. Позитивний вплив цукрів під час процесу сушіння полягає в тому, що в гідратованому стані конформація та цілісність білків і мембран стабілізується взаємодією з молекулами води, головним чином за рахунок водневого зв'язку. Після видалення води полярні групи цукрів можуть замінити молекули води. Полярні головні групи мембрани можуть безпосередньо взаємодіяти з ОН-залишками сахариду за допомогою водневого зв'язку. Оскільки в процесі дегідратації залишається достатньо місця між головними групами, цілісність мембрани може бути збережена після регідратації [18].

Добавки, що утворюють матрицю, і часто називаються допоміжними речовинами, включають манітол, сироватку та знежирене молоко. Найчастіше

використовують знежирене молоко, тому що при його використанні залишається значно більша кількість живих клітин порівняно з іншими компонентами як після процесу сушки, так і при зберіганні. Додатковим компонентом є також білок, який може бути як рослинного походження (наприклад, соєвий пептон), так і тваринного (наприклад, желатин). Найбільш застосовуваним є желатин — білковий продукт тваринного походження, який являє собою суміш лінійних поліпептидів з різною молекулярною масою. Виявлено, що білок як захисний компонент має великий вплив на виживання пробіотику [19]. Білок здатний запобігати пошкодженню клітин, утворюючи на клітинній стінці захисне покриття. Він здатний діяти як неактивний заповнювач, утворюючи навколо клітин захисне покриття і знижуючи ймовірність того, що велика кількість клітин злипнеться між собою. Тому для захисту клітин пробіотиків пропонується універсальне захисне середовище, яке включає всі необхідні компоненти (сахарозу, сухе знежирене молоко). Для додаткового захисту застосовується желатин, адже в комплексі вони забезпечують збереження достатньої кількості життєздатних клітин.

Кінцевою формою препарату, який розробляється, є сухий порошок, оскільки при його використанні стабільність та якість препарату майже не змінюється впродовж усього терміну зберігання. Для отримання порошкоподібних препаратів можуть застосовуватися такі методи: сушіння за допомогою розпилювальної сушарки, вакуумна сушка та сублімаційна сушка (ліофілізація) [21].

Обладнання, яке використовується для сушіння, повинно мінімально впливати на якість АФІ, зокрема забезпечувати максимально можливу кількість живих і непошкоджених клітин пробіотичних бактерій [10].

Таблиця 3. Залежність виживання клітин від методу сушіння та способу їх захисту

Метод сушіння	Спосіб підвищення життєздатності	Культура мікроорганізмів	Життєздатність клітин без застосування способу, %	Життєздатність клітин із застосуванням способу, %	Література
1	2	3	4	5	6
Розпилювальна сушка	Встановлення температури на вході 135°C та температурі на виході 65°C	<i>L. rhamnosus</i> GG та <i>L. rhamnosus</i> RBM 526	12,7 8,0	56,53 52,63	[22]
	Використання азоту замість повітря	<i>L. lactis subsp. cremoris</i> ASCC930119	45,19	58,58	[23]
	Слабке осмотичне навантаження (NaCl, 30 хв) перед сушінням	<i>L. paracasei</i> NFBC	8,27	33,46	[24]
	Попередня обробка теплом (52°C, 15 хв)	<i>L. plantarum</i> 8329	4,3	24	[25]

1	2	3	4	5	6
Сублімаційна сушка	Додавання до середовища сахарози або трегалози (10% (мас./об.))	<i>L. helveticus</i>	10	50	[26]
	Додавання до середовища знежиреного молока та трегалози (співвідношення 6% та 8% (мас./об.) відповідно)	<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> DSM 20081	3	70	[27]
	Зниження температури заморожування	<i>L. brevis</i> (з –20°C до –60°C)	46,4	65,2	[28]
		<i>L. salivarius</i> 124 (з –30°C до –80°C)	44,35	65	[29]
Вакуумна сушка	Додавання до середовища трегалози або сорбіту (25% (мас./об.))	<i>L. paracasei</i> F19	29	54	[30]
	Застосовування коротшого часу висихання	<i>L. plantarum</i> CIF17AN2	18,9	37,9	[31]
	Додавання до середовища сорбіту	<i>L. helveticus</i> WS1032	15,4	29,5	[32]

Аналіз даних (табл. 3) показав, що найбільш ефективним методом сушіння біомаси бактерій є метод ліофілізації. Перевагами ліофілізації, порівняно з вакуумною та розпилювальною сушаркою, є:

- живі клітини, які поступають на ліофілізацію, не інактивуються в процесі;
- збереження дисперсної фази препарату;
- висушений продукт можна зберігати досить тривалий термін;
- відсутність впливу високих температур.

Ліофілізація — найбільш зручний і широко застосовуваний спосіб видалення води для підвищення стабільності при зберіганні пробіотиків. Цей процес можна розділити на три етапи: заморожування, первинна сушка та вторинна сушка. Ліофілізовані тканини і препарати при зволоженні відновлюють свої первинні властивості. Недоліками ліофілізації є необхідність ретельної підготовки препарату до сушки, створення високого вакууму для повноти висихання, тривалість сушіння і досить високі енерговитрати. Ліофілізацію за-

стосовують при необхідності тривалого зберігання і консервування різних продуктів біологічного походження, для одержання сухої плазми донорської крові, сухих сироваток і вакцин, при трансплантації органів і тканин, у фармацевтичній і харчовій промисловості [33].

Технологічно та економічно доцільно перевірити обрану вище комбінацію захисного середовища для використання його у процесі ліофілізації та визначити його кількість, яку необхідно додати до бактеріальної біомаси. Було оцінено ефективність захисного середовища складу за різних концентрацій компонентів (табл. 4).

Таблиця 4. Компоненти кріозахисних середовищ, що використовуються для ліофільної сушки [14]

Номер середовища	Сухе знежирене молоко, % (мас./об.)	Сахароза, % (мас./об.)	Желатин, % (мас./об.)
1	0	0	0
2	6	0	0
3	6	0	2
4	6	4	2
5	6	4	4
6	6	8	2
7	6	8	4

Швидкість виживання обчислювали як загальну кількість бактерій після заморожування, поділену на загальну кількість бактерій до ліофільної сушки. У дослідженні використовувались такі співвідношення біомаси бактерій і захисного середовища — 2:1 та 5:1. У табл. 5 та 6 наведено ступінь виживання бактерій після ліофілізації за різної комбінації і концентрації компонентів захисного середовища та різному співвідношенні КР/ЗС [20].

Згідно з наведеними у табл. 4 даними, відмічено, що при висушуванні клітин лише у воді та за відсутності будь-якої кріопротекторної речовини виживаність становила лише 2—3%, а популяція бактерій значно зменшилась. Додавання 6% знежиреного молока до середовища збільшувало життєздатність бактерій до 20%.

Таблиця 5. Частота виживання *L. plantarum* після ліофільної сушки і трьох місяців зберігання при 4°C та 23°C (співвідношення 2:1) [20]

Номер середовища	Рівень виживання, %		
	Після сублимаційного сушіння	Зберігання при 4°C	Зберігання при 23°C
1	3	0,008	0,005
2	20	17	9
3	19	54	19
4	63	68	26
5	63	70	28
6	81	73	33
7	82	76	37

Таблиця 6. Частота виживання *L. plantarum* після ліофільної сушки і трьох місяців зберігання при 4°C та 23°C (співвідношення 5:1) [20]

Номер середовища	Рівень виживання, %		
	Після сублимаційного сушіння	Зберігання при 4°C	Зберігання при 23°C
1	2	0.01	0.01
2	18	21	12
3	18	48	15
4	56	65	20
5	58	67	24
6	72	68	33
7	74	72	35

Мікроорганізми демонстрували більш високий рівень виживання, коли до середовища додавали сахарозу. Середовище, що містить 8% сахарози, виявило більший ефект, ніж з вмістом 4%. Відсоток виживання близько 17—19% був виявлений у середовищах, що містять желатин і знежирене молоко, що вказує на те, що желатин у концентрації 2% не виявляв захисного ефекту під час заморожування. При ліофілізації із захисним середовищем, що містило 8% сахарози та 2% желатину, виживаність мікроорганізмів була подібною.

Після тримісячного зберігання ліофілізованих порошків бактерій були перераховані живі клітини в кожному захисному середовищі. Результати, наведені в табл. 5 і 6, показали, що наприкінці цього періоду мікробна популяція зменшилася на один порядок при зберіганні за температури 23°C або 4°C. Коефіцієнт зниження початкової популяції пробіотиків був значним у всіх середовищах при зберіганні при 23°C. Желатин діяв як захисна речовина та покращував виживання бактерій. Поєднання 8% сахарози та 6% знежиреного молока виявило менший кріопротекторний ефект, ніж комбінація 6% знежиреного молока, 4% сахарози та 4% желатину. Ці дані показують, що підвищення концентрації сахарози з 4% до 8% без желатину збільшувало ступінь виживання після сушіння ліофілізацією, але не після зберігання. Клітини лактобактерій зберігали більшу життєздатність при більш високій концентрації желатину. Відсоток виживання близько 76% був виявлений у середовищі, що містить 6% знежиреного молока, 4% желатину та 8% сахарози. Тому цей варіант середовища є найбільш ефективним серед випробуваних кріопротекторних комбінацій [20].

Із наведених даних можна зробити висновок, що оптимальним співвідношенням біомаси бактерій до захисного середовища є 2:1. Про це свідчить більша кількість життєздатних клітин після процесу сушіння. Після сушіння біомаси бактерій, до якої попередньо було внесене захисне середовище, вона має вигляд суцільного твердого коржа, що містить 2—4% води. Тому необхідною технологічною операцією є подрібнення таких коржів з метою отримання тонкодисперсного стійкого порошку [34].

Для процесу подрібнення слід використовувати закриті обладнання або обладнання, що герметично закривається. Поверхні, що контактують з АФІ, не повинні впливати на якість продукту. Під час процесу подрібнення об-

ладнання повинно забезпечувати розмір часток у межах передбачених документацією [10].

Подрібненням називають процес поділу твердого (або умовно твердого) матеріалу на частинки, який здійснюється шляхом механічного впливу. Вибір способу подрібнення залежить від фізичних властивостей і розмірів матеріалу. Основне значення має міцність матеріалу. Тверді та крихкі матеріали типу кристалів цукру або сухого зерна можна подрібнювати розбиванням або розтиранням. Пластичні матеріали необхідно кутерувати.

Основні машини для подрібнення, залежно від конструктивних особливостей, поділяються на такі типи: дробарки щоківі, конусні, валкові, молоткові, барабанні; бігуни та кульові, стрижневі, вібраційні, колоїдні млини тощо. До всіх машин для подрібнення можна сформулювати такі загальні вимоги: рівномірність шматків подрібненого матеріалу; своєчасне видалення подрібнених шматків із робочого простору; зведення до мінімуму пилоутворення; безперервне й автоматичне розвантаження; можливість регулювання ступеня дробіння; можливість легкої заміни швидко зношуваних деталей; невелика витрата енергії на подрібнення одиниці продукції; необхідність мати запобіжні частини, які під час деформації або виходу із ладу запобігали б аварії всієї машини [14].

Таблиця 7. Особливості використання обладнання для подрібнення

Тип дробарки	Особливості будови	Переваги використання	Недоліки використання	Література
1	2	3	4	5
Щокова дробарка	Складаються з двох поверхонь (щік), розташованих під невеликим кутом, що зближуються в нижній частині	Вони не займають багато місця та мають просту конструкцію	Застосовуються для крупного і середнього дроблення	[35]
Молоткова дробарка	Сировина подрібнюється від ударів молотків, які обертаються, а також унаслідок ударів матеріалу об ребристу поверхню стінок корпусу	Використовують для дрібного і тонкого подрібнення	Під час подрібнення частина матеріалу може зазнати переподрібнення	[13]
Валкова дробарка	Матеріал живильником подається в дробарку через завантажувальну воронку, захоплюється валками, що обертаються з однаковою швидкістю назустріч один одному, дробляться і розвантажуються вниз під дробарку	Найбільш ефективні для матеріалів помірної твердості, компактні та надійні в роботі, матеріал не переподрібнюється	Малопродуктивні	[13;14]

Проаналізувавши дані (табл. 7), можна зазначити, що на етапі подрібнення доцільно використовувати валкові дробарки, які найбільш ефективні для матеріалів помірної твердості. Завдяки своїй компактності та надійності в роботі вони мають переваги над іншими. Внаслідок однократного стиску матеріал не переподрібнюється.

Наступним необхідним етапом є проведення операцій фасування, пакування та маркування, що забезпечує отримання відповідного товарного вигляду пробіотичного препарату. Важливим на цьому етапі є вибір первинної упаковки, адже вона повинна якісно захищати сухі пробіотичні препарати від впливу різних зовнішніх факторів (температура, вологість навколишнього середовища та кисень), які здатні значно погіршити якість готового препарату впродовж процесу зберігання.

Збереження початкового вмісту води в препараті, його температури та зведення до мінімуму впливу кисню підвищують стабільність пробіотичних препаратів. Пробіотичні препарати (саме ліофільно висушені) природно гігроскопічні і, як правило, поглинають будь-яку доступну вологу. Тому для оптимальної упаковки пробіотиків рекомендується використовувати бар'єрні матеріали, які перешкоджають потраплянню води та кисню всередину упаковки. Бар'єрні характеристики різних типів упаковки можна порівняти за швидкістю пропускання води (MVTR) та швидкістю передачі кисню (OTR). MVTR і OTR — стаціонарна швидкість, при якій водяна пара та кисень проходять через стінку упаковки відповідно до заданих умов температури та відносної вологості [16].

На сьогодні пробіотичні препарати у вигляді ліофілізованого порошку випускають у таких типах первинної упаковки:

- скляні флакони;
- пластикові флакони;
- багатошарові пакетики-саше.

Аналіз публікацій [36—40] показав, що як первинну упаковку доцільно обрати багатошарові пакетики-саше, оскільки вони забезпечують захист від води, проходження кисню всередину упаковки та світла на рівні зі склом, але при цьому мають меншу вартість.

Найважливіша функція багатошарових пакетиків-саше полягає в тому, щоб захистити препарат всередині пакета від потрапляння води та кисню, що важливо при зберіганні сухих пробіотиків. Як відомо, скло є хімічно інертним, непористим, жорстким пакувальним матеріалом, що забезпечує майже 100% бар'єр для води та кисню. Серед матеріалів, що використовуються для виготовлення саше, алюмінієва фольга різної товщини, яка забезпечує захист від води та кисню порівняно зі склом. Волого-бар'єрні властивості полімерів також відіграють важливу роль. Серед полімерів, що додатково захищають від води, найбільш застосовуваними є поліпропілен (PP) і поліетилентерефталат. Сюди ж відносяться циклоолефінові сополімери, металоцени, нанокompозити тощо [39].

Порівняння стабільності пробіотичного препарату за використання різних типів пакетів-саше за температури 25°C та вологості повітря в межах 60% упродовж шести місяців наведено в табл. 8 [40].

Таблиця 8. Стабільність пробіотичного препарату за використання різних типів пакетів-саше [40]

Тип пакетів-саше*	Кількість життєздатних клітин, КУО/г		
	0 місяців	3 місяці	6 місяців
1	$2,05 \cdot 10^9$	$2,05 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^9$
2	$2,05 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^9$	$7 \cdot 10^7$
3	$2,05 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$

Примітка: * (склад покриття вказаний від зовнішньої до внутрішньої сторони): 1 тип: папір/поліетилен (PE)/алюмінієва фольга/поліетилен (PE); 2 тип: поліетилентерефталат (PET)/алюмінієва фольга/поліетилен (PE); 3 тип: поліетилентерефталат (PET)/алюмінієва фольга/покриття уцільнювачем з сополімером вуглеводневого вінілу (VMCH).

Враховуючи всі дані про кількість життєздатних клітин та вмісту вологи в середині упаковки для всіх трьох типів саше, тип I виявився найбільш дієвим. За використанням саше типу 1 виявлено, що вміст вологи та кількість життєздатних найбільш стабільний протягом усього періоду зберігання [29]. Тож стадія культивування необхідна для отримання біомаси молочнокислих бактерій, зокрема лактобацил, яка складає основу пробіотичного препарату і чинить терапевтичний ефект на організм людини.

На етапі відокремлення біомаси від культуральної рідини пропонується використовувати сепарування. Цей етап здійснюється з метою позбавлення біомаси від залишків поживного середовища та метаболітів, які утворилися під час попередніх етапів біосинтезу.

Стабілізацію біомаси бактерій слід здійснювати додаванням до неї захисного середовища. Ця операція використовується з метою запобігання втрат життєздатних клітин молочнокислих бактерій на наступних стадіях виробництва.

Наступний етап передбачає висушування отриманої біомаси з метою збільшення в подальшому терміну зберігання клітин бактерій та надання їм лікарської форми. Для забезпечення відповідних якісних характеристик за етапом висушування біомаси слідує стадія подрібнення та просіювання до частинок певного розміру.

На завершальних етапах виробництва необхідним є проведення операцій фасування, пакування та маркування, що дасть змогу отримати відповідний товарний вигляд пробіотичного препарату. На сьогодні здійснювати ці операції можна швидко та автоматизовано завдяки високотехнологічному обладнанню. Обладнання, що використовується при виробництві препарату, має бути належним чином спроектоване, мати відповідні розміри, розташовуватися відповідно до свого призначення таким чином, щоб персонал міг здійснювати очищення, санітарну обробку (за необхідності) і технічне обслуговування.

При можливості слід використовувати закриті обладнання або обладнання, що герметично закривається. Якщо використовується відкрите обладнання або таке, що відкривають, необхідно вжити застережних заходів, щоб звести до мінімуму ризик контамінації. Прилади для зважування, апаратура для регулювання і контролю, а також вимірювальне та випробувальне об-

ладнання, яке є критичним для забезпечення якості АФІ, слід калібрувати відповідно до письмових методик і встановленого графіка [10].

Висновки

Отже, у технології виробництва ліофілізованого пробіотичного препарату, що базується на поетапному накопиченні біомаси, доцільно використовувати вітчизняний штам молочнокислих бактерій *L. plantarum* 337Д УКМ В-2627 Української колекції культур мікроорганізмів, важливою перевагою якого є адаптивність до української популяції населення.

Показано, що найбільш ефективно захисне середовище, яке використовується при сушінні біомаси молочнокислих бактерій та забезпечує стабільність клітин у процесі зберігання, — це середовище, що містить сухе знежирене молоко (6%), сахарозу (8%) та желатин (4%). При використанні такого середовища відсоток виживання клітин бактерій становив близько 76% від їх початкової кількості.

При апробації різних типів багатошарових пакетиків-саше виявлено, що вміст вологи та кількість життєздатних бактерій найбільш стабільні протягом усього періоду зберігання за використання пакетика саше, що складався з паперу, поліетилену, алюмінієвої фольги та ще одного шару поліетилену (склад покриття вказаний від зовнішньої до внутрішньої сторони).

Для забезпечення якості АФІ та зведення до мінімуму ризику контамінації на всіх стадіях виробництва пробіотику слід використовувати належне обладнання та проводити контроль навколишнього середовища, які відповідають вимогам СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2016 «Лікарські засоби. Належна виробнича практика», що використовується у виробництві лікарських засобів на основі культур мікроорганізмів [4].

Література

1. Anandharaj M., Rani R. P., Swain M. R. Production of High-Quality Probiotics by Fermentation. *Microbial Functional Foods and Nutraceuticals*. 2017. P. 235—266.
2. Sarao L. K., Arora M. Probiotics, prebiotics, and microencapsulation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015. Vol. 57, N. 2. P. 344—371.
3. Технологія пробіотиків: Підруч. / С. О. Старовойтова, О. І. Скроцька, Ю. М. Пенчук, Т. П. Пирог. К.: НУХТ, 2012. 318 с.
4. Янковский Д. С., Моисеенко Р. А., Дымент Г. С. Особенности отечественных мультипробиотиков. *Современная педиатрия*. 2009. Т. 25, № 3. С. 79—86.
5. Огірчук К. С., Коваленко Н. К., Полтавська О. А. Ідентифікація та біологічні властивості молочнокислих бактерій, ізольованих від жінок старших вікових груп. *Мікробіол. журн.* 2013. Т. 75, № 5. С. 3—9.
6. Гармашева І. Л., Коваленко Н. К., Підгорський В. С., Лівінська О. П., та ін. Взаємодія клітин штаму *Lactobacillus plantarum* 337Д УКМ В-2627 з глинистими мінералами *in vitro*. *Мікробіол. журн.* 2016. № 4, Т. 78. С. 11—24.
7. Noori F., Tajabadi M., Jafari P. Growth Optimization of *Lactobacillus plantarum* T5jq301796.1, an Iranian Indigenous Probiotic in Lab Scale Fermenter. *Applied F Biotech.* 2016. Vol 3, N. 3. P. 188—193.
8. Cummins J., Ho M.-W. Genetically modified probiotics should be banned. *Microbial Ecology in Health and Disease*. 2005. N. 17. P. 66—68.
9. Farwa Mazhar S., Afzal M., Almatroudi A. et al. The Prospects for the Therapeutic Implications of Genetically Engineered Probiotics. *Journal of Food Quality*. 2020. P. 1—11.

10. Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2016 Лікарські засоби. Належна виробнича практика.
11. Барышников Н. А., Беляков Г. В., Таирова А. А., Филиппов А. Н. Фильтрация суспензии через пористую среду с учетом гравитации. *Мембраны и мембранные технологии*. 2016. Т. 6, № 1. С. 92—98.
12. Флотация. URL: <https://medic.studio/biotechnologii/flotatsiya-70593.html> (дата звернення 17.02.2020).
13. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. 2-е видання, доп. та випр. Х.: Світ Книг, 2014. 495 с.
14. Doran P. M. Unit Operations. *Bioprocess Engineering Principles*. 2013. P. 445—595.
15. Gueimonde M., Sánchez B. Enhancing probiotic stability in industrial processes. *Microb Ecol Health Dis*. 2012. № 23. P. 1—5.
16. Fenster K., Freeburg B., Hollard C., et al. The Production and Delivery of Probiotics: A Review of a Practical Approach. *Microorganisms*. 2019. Vol. 7, № 3.
17. Mitropoulou G., Nedovic V., Goyal A., Kourkoutas Y. Immobilization Technologies in Probiotic Food Production. *J of Nutr and Metabol*. 2013. P. 1—15.
18. Golowczyc M. A, Silva J., Abraham A. G., et al. Preservation of probiotic strains isolated from kefir by spray drying. *Lett Appl Microbiol*. 2010. Vol. 50, N. 1. P. 7—12.
19. Savedboworn W., Kerdwan N., Sakorn A., et al. Role of protective agents on the viability of probiotic *Lactobacillus plantarum* during freeze drying and subsequent storage. *Int F research J*. 2017. Vol. 24, N. 2. P. 787—794.
20. Jalali M., Abedi D., Varshosaz J., et al. Stability evaluation of freeze-dried *Lactobacillus paracasei* subsp. *tolerance* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* in oral capsules. *Res Pharm Sci*. 2012. Vol. 7, N. 1. P. 31—36.
21. Broeckx G., Vandenheuvel D., Claes I. J., et al. Drying techniques of probiotic bacteria as an important step towards the development of novel pharmabiotics. *Int J Pharm*. 2016. Vol. 505, N. 1—2. P. 303—18.
22. Romano A., Blaiotta G., Di Cerbo A., et al. Spray-dried chestnut extract containing *Lactobacillus rhamnosus* cells as novel ingredient for a probiotic chestnut mousse. *J. Appl. Microbiol*. 2014. Vol. 116. P. 1632—1641.
23. Ghandi A., Powell I. B., Howes T., Chen X. D., Adhikari B. Effect of shear rate and oxygen stresses on the survival of *Lactococcus lactis* during the atomization and drying stages of spray drying: a laboratory and pilot scale study. *J. Food Eng*. 2012. Vol. 113. P. 194—200.
24. Desmond C., Stanton C., Fitzgerald G. F., Collins K., Ross R. P. Environmental adaptation of probiotic *lactobacilli* towards improvement of performance during spray drying. *Int. Dairy J*. 2002. Vol. 12. P. 183—190.
25. Paéz R., Lavari L., Vinderola G., Audero G., et al. Effect of heat treatment and spray drying on *lactobacilli* viability and resistance to simulated gastrointestinal digestion. *Food Res. Int*. 2012. Vol. 48. P. 748—754.
26. Chen H. C., Lin C. W., Chen M. J. The effects of freeze drying and rehydration on survival of microorganisms in kefir. *Asian-Australasian J. Anim. Sci*. 2006. Vol. 19. P. 126—130.
27. Jalali M., Abedi D., Varshosaz J., et al. Stability evaluation of freeze-dried *Lactobacillus tolerance* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* in oral capsules. *Res. Pharm. Sci*. 2012. Vol. 7. P. 31—36.
28. Zhao G., Zhang G. Effect of protective agents, freezing temperature, rehydration media on viability of malolactic bacteria subjected to freeze-drying. *J. Appl. Microbiol*. 2005. Vol. 99. P. 333—338.
29. Ming L. C., Rahim R. A., Wan H. Y., Ariff A. B. Formulation of protective agents for improvement of *Lactobacillus salivarius* I 24 survival rate subjected to freeze drying for production of live cells in powderized form. *Food Bioprocess Technol*. 2009. Vol. 2. P. 431—436.
30. Foerst P., Kulozik U., Schmitt M., et al. Storage stability of vacuum-dried probiotic bacterium *Lactobacillus paracasei* F19. *Food Bioprod. Process*. 2012. Vol. 90. P. 295—300.

31. Hongpattarakere T., Uraipan S. Bifidogenic characteristic and protective effect of saba starch on survival of *Lactobacillus plantarum* CIF17AN2 during vacuum-drying and storage. *Carbohydr. Polym.* 2015. Vol. 117. P. 255—261.
32. Santivarangkna C., Kulozik U., Kienberger H., Foerst P. Changes in membrane fatty acids of *Lactobacillus helveticus* during vacuum drying with sorbitol. *Lett. Appl. Microbiol.* 2009. Vol. 49. P. 516—521.
33. Fowler A., Toner M. Cryo-injury and biopreservation. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2005. Vol. 1066. P. 119—135.
34. Das S., Bhattacharjee D., Manna A., Basu S. et al. Effect of different excipients and packaging materials on commercial preparation of probiotic formulation. *IJPSR.* 2014. Vol. 5, N. 5. P. 1830—1836.
35. Щокова дробарка. URL: <https://ulbm.in.ua/ua/wiki/shchokova-drobarka> (дата звернення 19.02.2020).
36. Glass as a packaging material in pharmaceutical packaging. URL: <https://www.slideshare.net/shwetashelke35/glass-as-a-packaging-material-in-pharmaceutical-packaging-71496789> (дата звернення 26.01.2020).
37. Fiorentini A. M., Ballus C. A., Oliveira M. L. de, et al. The influence of different combinations of probiotic bacteria and fermentation temperatures on the microbiological and physico-chemical characteristics of fermented lactic beverages containing soybean hydrosoluble extract during refrigerated storage. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos.* 2011. Vol. 31, N. 3. P. 597—607.
38. Probiotics Consumers Demand Very Particular Types of Packaging. URL: <https://www.comar.com/news-room/probiotics-consumers-demand-very-particular-types-of-packaging/> (дата звернення 25.01.2020).
39. Guergoletto K., Sivieri K., Tsuruda A., et al. Food Industrial Processes — Methods and Equipment. Dried Probiotics for use in functional food applications. *Benjamin Valdez (ed.), InTech, Shanghai, China.* 2012. P. 227—235.
40. Das S., Bhattacharjee D., Manna A., Basu S. et al. Effect of different excipients and packaging materials on commercial preparation of probiotic formulation. *Das, et al., IJPSR.* 2014. Vol. 5, N. 5. P. 1830—1836.

ACTION ON MICROORGANISMS OF SURFACTANTS SYNTHESIZED BY *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMV Ac-5017 ON INDUSTRIAL WASTE

T. Pirog, N. Petrenko, O. Paliichuk

National University of Food Technologies

Key words:

Microbial surfactants
Antibacterial and
antifungal activity
Waste of biodiesel
production
Fried oil

Article history:

Received 08.04.2020
Received in revised form
21.04.2020
Accepted 13.05.2020

Corresponding author:

T. Pirog

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The problem nowadays is the need to utilize a large amount of toxic industrial waste, in particular, fried oil and waste of biodiesel production. One of the most effective ways of neutralizing such waste is to use them as substrates for the cultivation of microorganisms in order to obtain practically valuable products, in particular surfactants, which are multifunctional preparations, because they are characterized by antimicrobial and antiadhesive activity, as well as can be used for the destruction of xenobiotics. However, surfactants are secondary metabolites, and are synthesized in the form of a complex of similar compounds, the composition and properties of which can vary under different cultivation conditions, and the presence of toxic impurities in the waste composition can affect the chemical composition and, consequently, the biological properties of the target product.

In the article the antimicrobial activity of surfactants synthesized by *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017 on waste of biodiesel production and fried sunflower oil was studied. It was found that the replacement of purified glycerol and refined oil with appropriate industrial waste was accompanied by an increase in both the concentration of surfactants synthesized by *R. erythropolis* IMB Ac-5017 and their antibacterial and antifungal activity. Minimum inhibitory concentrations with respect to bacterial (*Escherichia coli* IEM-1, *Bacillus subtilis* BT-2, *Pseudomonas* sp. MI-2, *Staphylococcus aureus* BMC-1) and yeast (*Candida albicans* Д-6, *Candida utilis* BBC-65, *Candida tropicalis* PE-2) test cultures of surfactants synthesized on waste of biodiesel production and fried oil were in the range of 20–250 µg/ml and were 2–4 times lower compared to the parameters established for surfactants obtained on the corresponding purified substrates.

ДІЯ НА МІКРООРГАНІЗМИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН, СИНТЕЗОВАНИХ *RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS* ІМВ Ас-5017 НА ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДАХ

Т. П. Пирог, Н. М. Петренко, О. І. Палійчук

Національний університет харчових технологій

Проблемою сьогодення є необхідність утилізації великої кількості токсичних промислових відходів, зокрема відпрацьованої (пересмаженої) олії та відходів виробництва біодизелю. Одним із найбільш ефективних способів знешкодження таких відходів є використання їх як субстратів для культивування мікроорганізмів з метою одержання практично цінних продуктів, зокрема поверхнево-активних речовин (ПАР), які є препаратами мультифункціонального призначення, оскільки характеризуються антимікробною та антиадгезивною активністю, а також можуть бути використані для деструкції ксенобіотиків. Проте ПАР є вторинними метаболітами, і синтезуються у вигляді комплексу подібних сполук, склад і властивості яких можуть змінюються в різних умовах культивування, а наявність у складі відходів токсичних домішок може впливати на хімічний склад, а отже, і на біологічні властивості цільового продукту.

У статті досліджено антимікробну активність поверхнево-активних речовин, синтезованих *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017 на відходах виробництва біодизелю та відпрацьованій соняшниковій олії. Встановлено, що заміна очищеного гліцерину та рафінованої олії на відповідні промислові відходи супроводжувалася підвищенням як концентрації синтезованих *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 ПАР, так і їхньої антибактеріальної та антифунгальної активності. Мінімальні інгібуючі концентрації щодо бактеріальних (*Escherichia coli* ІЕМ-1, *Bacillus subtilis* БТ-2, *Pseudomonas* sp. МІ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1) і дріжджових (*Candida albicans* Д-6, *Candida utilis* БВС-65, *Candida tropicalis* РЕ-2) тест-культур поверхнево-активних речовин, синтезованих на відходах виробництва біодизелю та відпрацьованій олії, перебували в межах 20–250 мкг/мл і були в 2–4 рази нижчими порівняно з показниками, встановленими для ПАР, одержаних на відповідних очищених субстратах.

Ключові слова: мікробні поверхнево-активні речовини, антибактеріальна та антифунгальна активність, відходи виробництва біодизелю, відпрацьована олія.

Постановка проблеми. Нині у світі спостерігається підвищений інтерес до застосування мікробних ПАР у різних галузях промисловості, що зумовлено їхньою екологічною безпечністю та високою ефективністю [1; 2]. Однак натеper лише обмежена кількість виробників (DSM Nutritional Products, США [3], Firmenich SA, Швейцарія [4], Jeneil Biosurfactant Co. США [5]) виробляє мікробні ПАР (переважно це рамно- та софороліпіди). Таке обмежене промислове

виробництво зумовлено перш за все високими витратами на біосинтез та очищення продуктів мікробного синтезу.

Одним із шляхів здешевлення технології одержання мікробних ПАР є використання як субстратів промислових відходів. Такими відходами, які накопичуються у великій кількості і потребують утилізації, є технічний гліцерин (відхід виробництва біодизелю) та пересмажена (відпрацьована) олія.

Так, виробництво біодизелю, окрім можливого вирішення енергетичної проблеми, створює екологічну. Адже у процесі його одержання утворюється як побічний продукт технічний гліцерин — фракція, що містить метанол, солі калію чи натрію, вільні жирні кислоти, метилові ефіри жирних кислот і гліцеридів [6]. На кожні 10 л біодизелю утворюється 1 л технічного гліцерину. Промислове очищення відходів виробництва біодизелю (реакції нейтралізації, видалення метанолу, іонна сорбція, вакуумна дистиляція тощо) є економічно не вигідними [6]. Оскільки ця фракція містить метанол, його не можна безпечно утилізувати на сміттєзвалищі, тому що таким чином відбувається залужнення ґрунтів, що, у свою чергу, робить їх непридатними для вирощування будь-яких культур [7]. І це створює екологічну небезпеку, адже попит на біопаливо у світі зростає і до 2024 р. прогнозують зростання до 39 млн т [8].

Іншим токсичним промисловим відходом, що накопичується у величезній кількості, є пересмажена олія, викиди якої в Україні не регламентуються. У світі за 2018 р. було одержано понад 700 млн т пересмаженої олії [9]. Екологічна небезпека такого відходу пов'язана з наявністю у пересмаженій олії канцерогенних альдегідів акролеїну й акриламідів [10]. Одним із варіантів утилізації харчових відходів може бути екстракція з них і повторне використання практично цінних речовин (білків, полісахаридів, харчових волокон тощо) [11] та використання пересмажених рослинних олій для одержання біодизелю [12]. Проте такі технології потребують попереднього очищення пересмаженої олії від токсичних домішок.

У попередніх дослідженнях було виділено штам *Rhodococcus erythropolis* ІМВ Ас-5017, здатний до синтезу ПАР на широкому наборі вуглецевих субстратів, у тому числі на відходах виробництва біодизелю та пересмаженій соняшниковій олії [13]. Проте дотепер біологічну активність поверхнево-активних речовин, синтезованих на цих токсичних відходах, не досліджували. Необхідність проведення таких досліджень зумовлена такими причинами:

- по-перше, ПАР — вторинні метаболіти, що синтезуються у вигляді комплексу подібних сполук, склад і властивості яких можуть змінюються в різних умовах культивування;

- по-друге, наявність у складі відходів токсичних домішок також може впливати на хімічний склад, а отже, і на біологічні властивості цільового продукту.

Мета статті: дослідження антимікробної активності поверхнево-активних речовин, синтезованих *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 на відходах виробництва біодизелю та відпрацьованій соняшниковій олії.

Матеріали і методи. Штам *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 — основний об'єкт досліджень, виділений із забруднених нафтою зразків ґрунту [14] та зареє-

стрований в Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології та вірусології Національної академії наук України.

ПАР, синтезовані *R. erythropolis* IMB Ас-5017, за хімічною природою є комплексом нейтральних, гліко-, фосфо- і аміноліпідів. Гліколіпіди представлені трегалозомоно- і диміколатами [15].

Як тест-культури під час визначення антимікробної активності використовували штами бактерій (*Escherichia coli* IЕМ-1, *Bacillus subtilis* БТ-2, *Pseudomonas* sp. МІ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1) та дріжджів (*Candida albicans* Д-6, *Candida utilis* БВС-65, *Candida tropicalis* РЕ-2) з колекції живих культур кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій.

R. erythropolis IMB Ас-5017 вирощували у рідкому мінеральному середовищі такого складу (г/л): NaNO_3 — 1,3; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,1; NaCl — 1,0; Na_2HPO_4 — 0,6; KH_2PO_4 — 0,14; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,01; рН 6,8—7,0.

Як джерело вуглецю (2%, об'ємна частка) використовували: очищений гліцерин; відходи виробництва біодизелю (Комсомольський біопаливний завод, Полтавська область); рафіновану соняшникову олію (ТМ «Олейна»); відпрацьовану змішану соняшникову олію після смаження м'яса, картоплі, цибулі, сиру (з ресторанів швидкого харчування «RocketPub», м. Київ).

Як інокулянт використовували культуру з кінця експоненційної фази росту (48 год), вирощену у середовищі наведеного вище складу з відповідним джерелом вуглецю (0,5%, об'ємна частка). Кількість інокуляту становила 5% від об'єму середовища для культивування.

Культивування бактерій здійснювали в колбах об'ємом 750 мл із 100 мл середовища на качалці (320 об/хв) при 30°C упродовж 120 год.

Для визначення емульгувальних властивостей (індекс емульгування, E_{24}) до 5 мл культуральної рідини додавали 5 мл соняшnikової олії та струшували упродовж 2 хв. Визначення індексу емульгування проводили через 24 год як величину співвідношення висоти шару емульсії до загальної висоти рідини у пробірці і виражали у відсотках.

Концентрацію ПАР в культуральній рідині (г/л), визначали за допомогою вагового методу після їх екстракції із супернатанту модифікованою сумішшю Фолча [16]. Для одержання супернатанту культуральну рідину після культивування штаму IMB Ас-5017 центрифугували (5000 g) упродовж 45 хв 25 мл супернатанту поміщали в циліндричну ділильну воронку об'ємом 100 мл і проводили екстракцію ПАР як описано нижче.

Спочатку додавали 5 мл 1М HCl і струшували протягом 5 хв, далі одразу додавали 20 мл модифікованої суміші Фолча (16 мл суміші Фолча + 4 мл 1М HCl) і знову струшували протягом 5 хв.

Отриману після екстракції суміш залишали в ділильній воронці для розділення фаз, після чого нижню фракцію зливали (органічний екстракт 1), а водну фазу піддавали повторній екстракції. При повторній екстракції до водної фази знову додавали 25 мл модифікованої суміші Фолча (16 мл реактиву Фолча + 9 мл 1М HCl) та екстрагували, струшуючи впродовж 5 хв. Після розділення фаз зливали нижню фракцію, отримуючи органічний екстракт 2. Екстракцію повторювали ще раз, за допомогою звичайної суміші Фолча (хлороформ:метанол = 2:1),

і отримували органічний екстракт 3. Екстракти 1—3 об'єднували і випарювали на роторному випарнику IP1-M2 (Росія) при температурі 50°C і абсолютному тиску 0,4 атм до постійної маси.

У дослідженнях як препарати використовували розчини поверхнево-активних речовин *R. erythropolis* IMB Ac-5017 різної концентрації. Для цього сухий залишок, одержаний після випарювання, розчиняли в стерильному фосфатному буфері (0,1 М, рН 7,0) до вихідного об'єму (25 мл) і далі розводили цим буфером до необхідної концентрації.

Усі препарати стерилізували в автоклаві при 112°C впродовж 30 хв.

Визначення антимікробних властивостей ПАР *R. erythropolis* IMB Ac-5017 щодо бактерій і дріжджів здійснювали за показником мінімальної інгібуючої концентрації (МІК).

Визначення МІК здійснювали методом двократних серійних розведень у м'ясопептонному бульйоні (МПБ) для бактерій і рідкому суслі для дріжджів як описано в [17]. У стерильних умовах у 10 пробірок вносили по 1 мл середовища, у першу додавали 1 мл розчину ПАР певної концентрації, після чого перемішували, відбирали 1 мл і переносили у наступну пробірку. Аналогічно проводили розведення для наступних дев'яти пробірок. З останньої пробірки відбирали 1 мл. Кінцевий об'єм у кожній пробірці становив 1 мл (МПБ чи сусло і розчин поверхнево-активних речовин), а концентрація ПАР у кожній наступній пробірці знижувалася вдвічі. Як контроль використовували 1 мл МПБ (для бактерій) або сусла (для дріжджів) без додавання розчину ПАР. Далі у кожну з пробірок вносили по 0,1 мл суспензії тест-культур (10^5 — 10^6 КУО/мл) та перемішували. Пробірки інкубували впродовж 24 год при 28—30°C для бактерій та 24—26°C для дріжджів. Результати оцінювали візуально за помутнінням середовища: (+) — пробірки, в яких спостерігали помутніння середовища (ріст тест-культури), (–) — помутніння не було (ріст відсутній). Мінімальну інгібуючу концентрацію розчину ПАР визначали як концентрацію, за якої спостерігалась відсутність росту тест-культури.

Усі досліди проводили в трьох повторях, кількість паралельних визначень в експериментах становила 3—5. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали як у [14; 15]. Відмінності середніх показників вважали достовірними на рівні значимості $p < 0,05$.

Результати і обговорення. У табл. 1 наведено концентрацію поверхнево-активних речовин та індекс емульгування культуральної рідини за умов росту *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на гліцерині та соняшниковій олії різного ступеня очищення. Ці дані свідчать, що незалежно від використовуваного субстрату індекс емульгування культуральної рідини був практично однаковим і становив 57—59%, а концентрація синтезованих ПАР на промислових відходах була у 2—3,5 раза вищою, ніж на відповідних очищених субстратах. Зазначимо, що рівень синтезу ПАР був максимальним (4,1 г/л) під час культивування штаму IMB Ac-5017 на відпрацьованій олії. Вищий рівень синтезу ПАР на відходах виробництва біодизелю порівняно з таким на очищеному гліцерині можна пояснити широкою субстратною специфічністю НДМА-залежної алкоголь-дегідрогенази *R. erythropolis* IMV Ac-5017: фермент здатний окиснювати й інші

спирти, що містяться у відходах виробництва біодизелю (етанол, метанол) [18], а на відпрацьованій олії (порівняно з рафінованою) — наявністю у такому субстраті поживних речовин з їжі, яку піддавали смаженню [11].

Таблиця 1. Показники синтезу поверхнево-активних речовин *Rhodococcus erythropolis* IMB Ас-5017 на різних вуглецевих субстратах

Субстрат	Концентрація ПАР, г/л	Індекс емульгування (Е ₂₄) культуральної рідини, %
Очищений гліцерин	0,9±0,04	59
Відходи виробництва біодизелю	1,9±0,09	57
Рафінована олія	1,2±0,06	58
Відпрацьована олія	4,1±0,20	59

У нещодавно опублікованому огляді [19] ми зазначали, що в літературі достатньо інформації про біосинтез рамно- та аміноліпідів на відходах виробництва біодизелю, проте відомості про використання такого субстрату для одержання ПАР представників роду *Rhodococcus* відсутні. Незважаючи на велику кількість публікацій про мікробний синтез ПАР на рафінованих і відпрацьованих оліях, інформації про родококів, які ростуть на таких субстратах, небагато. Перші такі повідомлення датуються 2008—2009 рр., коли було встановлено здатність *R. erythropolis* 16LM.USTHB до утворення поверхнево-активних речовин на середовищі з 3% пересмаженої соняшникової олії, а *Rhodococcus* sp. BS32 — з 20 г/л ріпакової олії. Проте в цих працях не наводяться дані кількісного визначення ПАР (в г/л), у зв'язку з чим порівняння результатів з даними інших публікацій є неможливим. Наступні публікації щодо утворення ПАР представниками роду *Rhodococcus* на олієвмісних субстратах з'явилися лише через кілька років — у 2013—2016 роках. В огляді [19] ми акцентували увагу на тому, що для вирощування продуцентів поверхнево-активних речовин як субстрати дослідники використовували рафіновані олії.

Тож наші дослідження, в яких встановлено здатність *R. erythropolis* IMB Ас-5017 до синтезу ПАР на відходах виробництва біодизелю і відпрацьованій олії, є одними з перших.

Зазначимо, що заміна рафінованої олії та очищеного гліцерину на відповідні відходи дає змогу підвищити концентрацію синтезованих поверхнево-активних речовин (табл. 1). Але при цьому немає гарантій, що цільовий продукт буде характеризуватися необхідними для практичного використання властивостями. Тому на наступному етапі визначали антимікробну активність ПАР *R. Erythropolis* IMB Ас-5017 щодо бактеріальних (табл. 2) і дріжджових тест-культур (табл. 3).

Механізм антимікробної дії ПАР полягає у порушенні цілісності цитоплазматичної мембрани тест-культур і втратою клітиною життєздатності [1]. Зазначимо, що у більшості праць як тест-культури під час визначення антимікробної активності різних біоцидів автори найчастіше використовують бактерії родини *Enterobacteriaceae* [20] та роду *Staphylococcus* [21], а також дріжджі роду *Candida* [22].

Такий вибір зумовлений тим, що ентеробактерії є основними збудниками захворювань шлунково-кишкового тракту та здатні адгезуватися на поверхнях

обладнання харчової промисловості та медичного інвентарю. Саме тому пріоритетним залишається пошук сучасних антимікробних препаратів, дієвих щодо представників цієї родини [20]. Ще одним з найвідоміших патогенів є бактерії роду *Staphylococcus*, які викликають гнійні запалення шкіри, кісток та органів у людей і тварин, та характеризуються підвищеною стійкістю до широкого спектру антибіотиків. Тому актуальним є пошук альтернативних антибіотикам сполук з високою антимікробною активністю, зокрема, до резистентних штамів золотистого стафілокока [21]. Дріжджі роду *Candida* здатні спричиняти важкі інфекційні захворювання (кандидози), а кількість препаратів для лікування таких інфекцій обмежується швидкою появою резистентних до відомих антибіотиків штамів [22].

Таблиця 3. Дія на дріжджі роду *Candida* поверхнево-активних речовин, синтезованих *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на промислових відходах

Тест-культури	Мінімальні інгібуючі концентрації (мкг/мл) ПАР, синтезованих на			
	очищеному гліцерині	відходах виробництва біодизелю	рафінованій олії	відпрацьованій олії
<i>Candida albicans</i> Д-6	500	250	160	20
<i>Candida utilis</i> БВС-65	500	125	80	40
<i>Candida tropicalis</i> PE-2	125	62,5	80	40

Дані, наведені у табл. 2, свідчать, що поверхнево-активні речовини, синтезовані на всіх субстратах, проявляли антибактеріальну активність, проте її рівень залежав від природи джерела вуглецю у середовищі культивування, ступеня його очищення й типу тест-культури. Зазначимо, що ПАР, синтезовані *R. erythropolis* IMB Ac-5017 на відходах виробництва біодизелю та відпрацьованій олії, характеризувалися вищою активністю щодо досліджуваних бактеріальних тест-культур, ніж поверхнево-активні речовини, одержані на відповідних очищених субстратах: мінімальні інгібуючі концентрації становили 31—125 і 62,5—500 мкг/мл відповідно (табл. 2). Найефективнішими щодо *E. coli* ІЕМ-1 виявилися ПАР, синтезовані на відпрацьованій олії (МІК 40 мкг/мл), щодо *B. subtilis* БТ-2, *Pseudomonas* sp. МІ-2 і *S. aureus* БМС-1 — поверхнево-активні речовини, утворені на відходах виробництва біодизелю (МІК 31—62,5 мкг/мл).

Зазначимо, що антибактеріальну активність ПАР *R. erythropolis* IMB Ac-5017 (табл. 2) ми не можемо порівняти з описаними у літературі поверхнево-активними речовинами інших родококів, оскільки автори праць використовували для визначення антимікробної активності не показник мінімальної інгібуючої концентрації, а метод дифузії в агар (діаметр зони затримки росту), або аналізували ступінь інгібування росту у суспензійній культурі [23; 24]. Так, у [23] встановлено, що ПАР, синтезовані *Rhodococcus fascians* BD8 на н-гексакані, проявляли антимікробну активність щодо резистентних патогенів. За наявності достатньо високої концентрації ПАР (500 мкг/мл) спостерігали інгібування росту на (%): *E. coli* ATCC 10536 — 25, *Enterococcus hirae* ATCC 10541 — 32, *Proteus mirabilis* ATCC 21100 — 27, *Staphylococcus epidermidis* KCTC 1917 — 14. Найвищу антимікробну активність розчини ПАР проявляли щодо *Vibrio*

harveyi ATCC 14126 і *Proteus vulgaris* ATCC 27973 — інгібування росту на 89 та 95% відповідно. У разі зниження концентрації розчинів ПАР *R. fascians* BD8 їх антимікробна дія знижувалася, і за концентрації 35 мкг/мл інгібування росту досліджуваних тест-культур не перевищувало в середньому 2—3% [23].

Поверхнево-активні гліколіпіди, синтезовані штамом *Rhodococcus erythropolis* (номер у праці не наведено) на середовищі з 1мМ ейкозану, спричиняли антимікробну дію на бактерії і гриби [24]. Встановлено, що зони затримки росту *Pseudomonas aeruginosa* через 300 хв експозиції становили 4 мм, *E. coli* — 3,5 мм через 420 хв, *Aspergillus niger* — 3 мм через 240 хв і *Aspergillus flavus* — 3 мм через 360 хв експозиції.

Дані, наведені у табл. 3, свідчать, що ПАР, синтезовані *R. erythropolis* IMB Ас-5017 на промислових відходах, проявляли вищу антифунгальну активність порівняно з одержаними на відповідних очищених субстратах (МІК щодо дріжджів роду *Candida* становили 20—250 і 80—500 мкг/мл відповідно). Крім того, поверхнево-активні речовини, утворені на олієвмісних субстратах, виявилися ефективнішими антифунгальними агентами, ніж синтезовані на гліцерині різного ступеня очищення: мінімальні інгібуючі концентрації 20—160 і 62,5—500 мкг/мл відповідно.

Зазначимо, що дані літератури про дію ПАР родококів на дріжджі роду *Candida* є вкрай обмеженими. Так, у [23] встановлено, що за наявності ПАР *R. fascians* BD8 у концентрації 500 мкг/мл інгібування росту *C. albicans* ATCC 10231 становило 30%. Проте автори не визначали показник МІК. Для оцінки антимікробної активності поверхнево-активних речовин *R. erythropolis* IMB Ас-5017 порівняємо одержані нами дані з показником МІК щодо дріжджів інших гліколіпідів. Так, мінімальні інгібуючі концентрації софороліпідів, синтезованих дріжджами *Starmerella*, щодо представників роду *Candida* становили 30—120 мкг/мл [25]. Тож, антимікробна активність ПАР, синтезованих *R. Erythropolis* IMB Ас-5017 на олієвмісних субстратах, є порівняною з визначеною для мікробних софороліпідів.

Отже, у сучасній літературі відомостей про антимікробну активність ПАР представників роду *Rhodococcus* значно менше, ніж відповідної інформації про рамноліпіди [26], аміноліпіди (*Bacillus*) [27] та софороліпіди [25; 26]. На нашу думку, це зумовлено тим, що традиційними впродовж багатьох років сферами потенційного практичного застосування ПАР родококів є природоохоронні технології (деструкція ксенобіотиків). Крім того, концентрація ПАР, синтезованих родококами, є нижчою, ніж інших гліколіпідів, високою також залишається вартість використовуваних для синтезу субстратів (вуглеводні). Ці фактори суттєво підвищують собівартість цільового продукту. Якщо у природоохоронних технологіях можливим є використання ПАР у вигляді культуральної рідини, то застосування поверхнево-активних речовин як антимікробних агентів потребує додаткового очищення, що, у свою чергу, підвищує їхню вартість.

Висновки

Використання як субстратів для одержання ПАР *R. erythropolis* IMB Ас-5017 відходів виробництва біодизелю та відпрацьованої олії дає змогу одночасно

вирішити кілька актуальних проблем: утилізувати відходи, що оберігає довкілля від неконтрольованих і нерегламентованих викидів токсичних сполук; знизити собівартість цільового продукту; одержати поверхнево-активні речовини з високою антимікробною активністю. Важливо, що при заміні очищених субстратів на відповідні промислові відходи підвищується як концентрація синтезованих *R. erythropolis* IMB Ac-5017 ПАР, так і їхня антибактеріальна та антифунгальна активність.

Література

1. Santos D. K., Rufino R. D., Luna J. M., Santos V. A., Sarubbo L. A. Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century. *Int. J. Mol. Sci.* 2016, 17(3):401. doi: 10.3390/ijms17030401.
2. Paulino B. N., Pessôa M. G., Mano M. C., Molina G., Neri-Numa I. A., Pastore G. M. Current status in biotechnological production and applications of glycolipid biosurfactants. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2016; 100(24):10265—10293. doi:10.1007/s00253-016-7980-z.
3. Oliveira M. R., Magri A., Baldo C., Camilios-Neto D., Minucelli T., Celligoi M. A. P. C. Review: Sophorolipids a promising biosurfactant and it's applications. *Int. J. Adv. Biotechnol. Res. (IJBR)*. 2015, 6(2): 161—174.
4. Harjot P. K., Bhairav P., Sukhvair K. A review on applications of biosurfactants produced from unconventional inexpensive wastes in food and agriculture industry. *World J. Pharm. Res.* 2015, 8(4): 827—842.
5. Satpute S. K., Zinjarde S. S., Banat I. M. Recent updates on biosurfactant/s in food industry. In: *Microbial Cell Factories* (Ed. Sharma D., Saharan B.S.). 2018. <https://doi.org/10.1201/b22219>.
6. Ardi, M. S., Aroua, M. K., Hashim, N. A. Progress, prospect and challenges in glycerol purification process: a review. *Renew. Sust. Energy Rev.* 2015, 42: 1164—1173. doi:10.1016/j.rser.2014.10.091.
7. Vignesh G., Barik D. Toxic waste from biodiesel production industries and its utilization. In: *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation* (Publisher: Woodhead Publishing). 2019: 69—82. doi:10.1016/b978-0-08-102528-4.00006-7.
8. Bušić A., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Mardetko N., Ivančić Šantek M., Komes D., Novak S., Šantek B. Recent trends in biodiesel and biogas production. *Food Technol. Biotechnol.* 2018, 56(2): 152—173. doi: 10.17113/ftb.56.02.18.5547.
9. Awogbemi O., Onuh E. I., Inambao F. L. Comparative study of properties and fatty acid composition of some neat vegetable oils and waste cooking oils. *Int. J. Low-Carbon Technol.* 2019, 14(3): 417—425/ <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz038>.
10. Patil P. D., Gude V. G., Reddy H. K., Muppaneni T., Deng S. Biodiesel production from waste cooking oil using sulfuric acid and microwave irradiation processes. *J. Environ. Protec.* 2012, 3: 107—113. doi: 10.4236/jep.2012.31013.
11. Baiano A. Recovery of biomolecules from food wastes a review. *Molecules.* 2014, 9(9): 14821—14842. doi: 10.3390/molecules190914821.
12. Hossain A., Aleissa M. Biodiesel fuel production from palm, sunflower waste cooking oil and fish byproduct waste as renewable energy and environmental recycling process. *British Biotechnol. J.* 2016, 10(4): doi: 10.9734/BBJ/2016/22338.
13. Pirog T. P., Shulyakova M. O., Nikituk L. V., Antonuk S. I., Elperin I. V. Industrial waste bioconversion into surfactants by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 and *Nocardia vaccinii* IMV B-7405. *Biotechnologia Acta.* 2017, 10(2): 22—33. <https://doi.org/10.15407/biotech10.02.022>.
14. Pirog T. P., Shevchuk T. A., Voloshina I. N., Gregirchak N. N. Use of claydite-immobilized oil-oxidizing microbial cells for purification of water from oil. *Appl. Biochem. Microbiol.* 2005, 41(1): 51—55. <https://doi.org/10.1007/s10438-005-0010-z>.

15. Pirog T. P., Shevchuk T. A., Volishina I. N., Karpenko E. V. Production of surfactants by *Rhodococcus erythropolis* strain EK-1, grown on hydrophilic and hydrophobic substrates. *Appl. Biochem. Microbiol.* 2004, 40(5): 470—475. <https://doi.org/10.1023/B:ABIM.0000040670.33787.5f>.
16. Тарасенко Д. О. Модифікація методу кількісного визначення поверхнево-активних речовин *Rhodococcus erythropolis* EK-1. *Харчова промисловість*. 2008, 7: 40—42.
17. Chebbi A., Elshikh M., Haque F., Ahmed S., Dobbin S., Marchant R., Sayadi S., Chamkha M., Banat I. M. Rhamnolipids from *Pseudomonas aeruginosa* strain W10; as antibiofilm/antibiofouling products for metal protection. *J. Basic Microbiol.* 2017, 57(5): 364—375. doi: 10.1002/jobm.201600658.
18. Pirog T., Shulyakova M., Sofilkanych A., Shevchuk T., Maschenko O. Biosurfactant synthesis by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on byproduct of biodiesel production. *Food Bioprod. Proces.* 2015, 93(1): 11—18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.09.003>.
19. Пирог Т. П., Гейченко Б. С., Шевчук Т. А., Мучник Ф. В. Біосинтез поверхнево-активних речовин актинобактеріями роду *Rhodococcus*. *Мікробіол. журнал*. 2020, 82(2): 66—80.
20. Aghraz A., Benameur Q., Gervasi T., Ait dra L. Antibacterial activity of *Cladanthus arabicus* and *Bubonium imbricatum* essential oils alone and in combination with conventional antibiotics against *Enterobacteriaceae* isolates. *Lett. Appl. Microbiol.* 2018, 67(2): 175—182.
21. Buldain D., Buchamer A. V., Marchetti M. L., Aliverti F., Bandoni A., Mestorino N. Combination of Cloxacillin and Essential oil of *Melaleuca armillaris* as an alternative against *Staphylococcus aureus*. *Front. Vet. Sci.* 2018, 5(177). doi: 10.3389/fvets.2018.00177.
22. Chin V. K., Lee T. Y., Rusliza B., Chong P. P. Dissecting *Candida albicans* infection from the perspective of *C. albicans* virulence and omics approaches on host-pathogen interaction: a review. *Int. J. Mol. Sci.* 2016, 17(10). doi: 10.3390/ijms17101643.
23. Janek T., Krasowska A., Czyżnikowska Ż., Łukaszewicz M. Trehalose lipid biosurfactant reduces adhesion of microbial pathogens to polystyrene and silicone surfaces: an experimental and computational approach. *Front. Microbiol.* 2018; 9:2441. doi: 10.3389/fmicb.2018.02441.
24. Abdel-Megeed A., Al-Rahma A. N., Mostafa A. A., Husnu Can Baser K. Biochemical characterization of anti-microbial activity of glycolipids produced by *Rhodococcus erythropolis*. *Pak. J. Bot.* 2011; 43(2): 1323—34.
25. Haque F., Alfatah M., Ganesan K., Bhattacharyya M. S. Inhibitory effect of sophorolipid on *Candida albicans* biofilm formation and hyphal growth. *Sci. Rep.* 2016, 6:23575. doi:10.1038/srep23575.
26. Elshikh M., Moya-Ramírez I., Moens H., Roelants S., Soetaert W., Marchant R. et al. Rhamnolipids and lactonic sophorolipids: natural antimicrobial surfactants for oral hygiene. *J. Appl. Microbiol.* 2017; 123(5): 1111—1123. doi:10.1111/jam.13550.
27. Zhao H., Shao D., Jiang C., Shi J., Li Q., Huang Q. et al. Biological activity of lipopeptides from *Bacillus*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2017; 101(15): 5951—5960. doi: 10.1007/s00253-017-8396-0.

ANTI-TUMOR ACTIVITY AND SOME ASPECTS OF BIOTECHNOLOGY OF MICROBIAL ANTI-CANCER METABOLITES

S. Vyskirko, O. Skrotska

National University of Food Technologies

Key words:

Cancer
Antitumor metabolites
Fungi
Bacteria
Yeast

Article history:

Received 13.04.2020
Received in revised form
24.04.2020
Accepted 14.05.2020

Corresponding author:

S. Vyskirko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Chemotherapy is the most effective treatment for different types of tumors. However, the cancer cells resistance to various compounds, as well as adverse drug reactions create a number of obstacles to the successful use of chemotherapy. In addition, due to more in-depth studies of the antitumor action mechanism and increasing demand for antitumor medicines, the search for new and effective anticancer compounds is relevant. Among the chemotherapeutic agents, a large part are compounds that are obtained with the help of microorganisms — filamentous fungi and bacteria. The researches of the isolation and identification of new strains of microorganisms that are able to synthesize antitumor compounds of various natures, continue nowadays. The review provides information for the last five years' studies of the anticancer properties of new and well-known compounds of microbial origin.

From such sources as soil, plants, algae, seas and oceans, strains of microorganisms have been isolated, in which the ability to synthesize new compounds with antitumor properties has been revealed. In particular, the filamentous fungi produce derivatives of *butenolide*, *penochalasin I*, *chaetocochins G*, *asperpyrone A*, *phomaketide A*, *trichomicin*, *peniquinone A*, *brocazine G*, *cladosporol H*, *phenochalasin B*, *stachybochartin G* and others. Their antitumor properties are shown *in vitro* on different models of tumors — cancer of the pancreatic, ovaries, lungs, breast, liver, cervix, monocytic leukemia, osteosarcoma. Among the bacteria there were isolated and identified strains that synthesize derivatives of *olivomycin A*, *cyclo (S-Pro-S-Val)*, *zincophorin B*, *laterosporulin 10*. These compounds have been shown to be effective anticancer substances. There are few reports in the literature sources for the last five years about the possibility of using yeast for the synthesis of antitumor compounds.

In most of the investigated articles, the authors isolate, purify and identify new compounds that have antitumor properties. However, researchers do not determine at what concentration the biologically active metabolite is synthesized during cultivation and do not optimize the biosynthesis process.

ПРОТИПУХЛИННА АКТИВНІСТЬ І ДЕЯКІ АСПЕКТИ БІОТЕХНОЛОГІЇ МІКРОБНИХ ПРОТИРАКОВИХ МЕТАБОЛІТІВ

С. І. Вискірко, О. І. Скроцька

Національний університет харчових технологій

Хіміотерапія є найбільш ефективним методом лікування різних типів пухлин. Проте стійкість ракових клітин до різних сполук, а також побічні ефекти ліків створюють ряд перешкод для успішного застосування хіміотерапії. Крім того, завдяки більш поглибленим дослідженням механізму протипухлинної дії та збільшенням попиту на протипухлинні препарати, пошук нових і ефективних антиракових сполук є актуальним. Серед хіміотерапевтичних засобів велику частку складають сполуки, які отримують за допомогою мікроорганізмів — міцеліальних грибів і бактерій. На сьогодні продовжуються дослідження з виділення та ідентифікації нових штамів мікроорганізмів, які здатні синтезувати протипухлинні сполуки різної природи. В огляді наведено інформацію за останні п'ять років щодо досліджень протиракових властивостей нових і відомих сполук мікробного походження.

З таких джерел, як ґрунт, рослини, водорості, моря та океани виділені штами мікроорганізмів, в яких виявлено здатність до синтезу нових сполук з протипухлинними властивостями. Зокрема, міцеліальні гриби продукують похідні бутеноліду, пенохалазин І, хетокохін G, асперпірон А, фомакетид А, трихоміцин, пеніхінон А, броказин G, кладоспорол Н, фенохалазин В, стахібохартин G тощо. Показано їхні протипухлинні властивості in vitro на різних моделях пухлин — раку підшлункової залози, яєчників, легень, молочної залози, печінки, шийки матки, моноцитарного лейкозу, лейкемії, остеосаркоми. Серед бактерій виділено та ідентифіковано штами, які синтезують похідні олівоміцину А, цикло(S-пролін-S-валін), цинкофорин В, латероспорулін ІО. Ці сполуки виявились ефективними протираковими субстанціями. В літературі останніх п'яти років мало повідомлень про можливість використання дріжджів для синтезу протипухлинних сполук.

У більшості проаналізованих статей автори виділяють, очищують та ідентифікують нові сполуки, які володіють протипухлинними властивостями. Проте дослідники не визначають, у якій концентрації синтезується біологічно активний метаболіт під час культивування та не проводять оптимізацію процесу біосинтезу.

Ключові слова: рак, протипухлинні метаболіти, гриби, бактерії, дріжджі.

Постановка проблеми. У 2018 р. у світі діагностовано близько 18,1 млн нових випадків захворювання на рак. У тому ж році від онкологічних хвороб померло 9,6 млн осіб. Встановлено, що рак легенів, печінки і шлунка — найбільш поширені види пухлин, які призвели до летальних наслідків у 3,3 млн осіб. На другому місці за причинами смертності від різних типів пухлин рак молочної залози і колоректальний рак [1].

На сьогодні хіміотерапія залишається одним із основних методів лікування різних типів пухлин. Однак ефективність хіміотерапії знижується через стійкість до лікарських препаратів. Стійкість до протипухлинних сполук може бути первинною і вторинною. Первинна (внутрішня) резистентність виникає, коли генетичні зміни в злоякісних клітинах забезпечують їм стійкість до різних сполук ще до моменту введення відповідних ліків. Вторинна (набута) резистентність виникає під час хіміотерапії. Також слід наголосити, що в осіб з одним і тим же типом раку ефективність одного й того самого лікування може бути різною [2]. Тому на сьогодні існує гостра необхідність в нових і більш ефективних протипухлинних препаратах.

Велику частку серед хіміотерапевтичних засобів складають сполуки, отримані з використанням мікроорганізмів — міцеліальних грибів і бактерій. Серед бактеріальних продуцентів велику групу складають актиноміцети, які продукують протипухлинні антибіотики [3]. Тож дослідження з виділення та ідентифікації нових штамів мікроорганізмів, які здатні синтезувати протипухлинні сполуки різної природи, продовжуються.

Мета статті: аналіз сучасної літератури щодо протипухлинної активності речовин, які продукуються дріжджами [4—6], а також новими штамми грибів і бактерій, що були виділені з різних джерел — морів та океанів [7—9], рослин [10—14], водоростей [15—18], ґрунту [19—24], ризосферного ґрунту рослин [25; 26] тощо.

Викладення основних результатів дослідження. Метаболіти міцеліальних грибів з протипухлинною активністю. За останні п'ять років досліджені нові сполуки, які синтезуються різними родами міцеліальних грибів — похідні бутеноліду [7], пеноксалазин I [12], хетоксхин G [14], асперпірон A [16], фомакетид A [18], трихоміцин [20], пеніхінон A [25], броказин G [27], кладоспорол H [28], фенохалазин B [29], стахібохартин G [30] тощо. Крім виділення, очистки та ідентифікації цих сполук, показані їх протипухлинні властивості *in vitro* на різних моделях пухлин — раку підшлункової залози [7; 16], яєчників [10], легень [11; 12; 17; 28], молочної залози [12; 14; 20; 25], печінки [13; 32], шийки матки [28; 31], моноцитарного лейкозу [15], лейкемії [19], остеосаркоми [30].

Під Aspergillus. Продуцентами великої кількості сполук з різноманітними біологічними властивостями є морські ендоефітні гриби. Так, пренільовані дифенілефіри, які є вторинними метаболітами *Aspergillus tennesseensis* OUCMBI140430, проявляють антимікробну та цитотоксичну активність. Зокрема, показано протипухлинну активність 3-(2-(1-гідрокси-1-метил-етил)-6-метил-2,3-дигідробензофуран-4-ілокси)-5-метилфенолу (похідне дигідробензофурану) на культурі клітин TNP-1 (моноцитарний лейкоз) та здатність пригнічувати ріст *Bacillus subtilis* у концентрації 2 мкг/мл [15].

Серед метаболітів *Aspergillus* sp. XNM-4 були ідентифіковані сполуки, які належать до димерних нафтопіронів. Серед них найбільшу протипухлинну активність стосовно клітинної лінії PANC-1 (аденокарцинома протоків підшлункової залози) проявив асперпірон A. Встановлено, що ця речовина запускає синтез активних форм кисню (АФК) у раковій клітині, індуюючи таким чином апоптоз пухлинних клітин [16].

Досліджуючи асперазин A та асперазин, які синтезуються ендоефітними грибами *Aspergillus niger* (GenBank: HM590646), Li зі співавт. спостерігали

лише слабку протипухлинну активність стосовно лінії клітин A2780 (рак яєчників). Автори також дослідили інші вторинні метаболіти *Aspergillus niger*, але не виявили їхньої протипухлинної активності [10].

Серед метаболітів морських грибів *Aspergillus terreus* (GenBank: MF993118) виявлено дванадцять похідних бутеноліду. Найбільшу протипухлинну активність встановлено у 3,3-ди-(диметилаліл)-бутиролактону II щодо клітинної лінії PANC-1. Досліджувана сполука індукуює апоптоз і пригнічує проліферацію пухлинних клітин [7].

Досліджено протипухлинну активність метаболітів *Aspergillus terreus* JAS-2, що був виділений із *Achyranthus aspera* (соломоцвіт шорсткуватий). Серед метаболітів була ідентифікована сполука 4,5-дигідрокси-3-(1-пропеніл)-2-циклопентен-1-он. Проте вона показала меншу протиракову активність на культурі клітин A549 (карцинома легеневого епітелію), ніж неочищений супернатант штаму JAS-2. Автори пояснюють цей факт наявністю у супернатанті додаткових неідентифікованих протипухлинних сполук [11].

Під *Penicillium*. Meng зі співавт. описали чотири нових дикетопіперазини (спіроброказини A, B, C та броказин G), продуцентом яких є *Penicillium brocae* MA-231. Сполуки досліджували на моделі раку яєчників людини з використанням чутливої (A2780) та резистентної (A2780 CisR) лінії клітин до цисплатину (офіційний протипухлинний засіб, комплексна сполука платини). Висока активність була виявлена у спіроброказині C, який проявив дію на клітинах A2780, а також у броказині G, що інгібував ріст обох клітинних ліній [27].

Серед метаболітів *Penicillium chrysogenum* V11 виділено та ідентифіковано новий хетоглобозин — пенохалазин I. Для дослідження його протипухлинної активності використовували клітинні лінії MDA-MB-435 (рак молочної залози), SGC-7901 (рак шлунка) та A549. Пенохалазин I проявив виражену цитотоксичну активність щодо досліджуваних клітинних ліній, що дає змогу використовувати цю сполуку при розробці нових або ж модифікації існуючих протипухлинних засобів [12].

Penicillium janthinellum HDN13-309 — ендоефітний гриб, виділений з кореня *Sonneratia caseolaris*. Серед метаболітів штаму HDN13-309 виділили шість нових алкалоїдів — пенісульфураноли A-F. Це похідні епіполітіодикетопіперазинів (токсини грибів), у структурі яких є дисульфідний або полісульфідний місток, що сполучений із дикетопіперазиновим кільцем. Встановлено, що пенісульфураноли A-C мають дисульфідний міст, а пенісульфураноли D-F — полісульфідний. Саме пенісульфураноли A, B і C виявили протипухлинну дію *in vitro* на моделях раку шийки матки (клітини HeLa) та лейкемії людини (клітини HL-60). Автори припустили, що саме наявність дисульфідного містка може відігравати ключову роль у виявленій протипухлинній активності досліджених пенісульфуранолів [31].

Gao зі співавт. виділили з *Penicillium brefeldianum* ХМК-2 один новий індолітерпен (6,7-дегідропаксилін), індол-дикетопіперазин (спиротрипростатин F) та 13-членний макролід (N-диметилмелерорид A), а також 8 відомих алкалоїдів. Серед цих сполук лише спиротрипростатин F та N-диметилмелерорид A виявили помірну цитотоксичну активність щодо ліній ракових клітин MDA-MB-435 і HepG2 (гепатоцелюлярна карцинома) [13].

Серед метаболітів *Penicillium* sp. L129 виявлені нові сполуки: пеніхінон А та В, пенізофуран А, хінадолін D. Встановлено, що пеніхінон А володіє високою протипухлинною активністю *in vitro* на моделях аденокарциноми молочної залози (клітини MCF-7), гліобластоми (клітини U87) та раку передміхурової залози (клітини PC3). Пеніхінон В проявив відносно слабку протипухлинну дію, а пенізофуран А та хінадолін D практично не інгібували ріст пухлинних клітин [25].

Представники інших родів. Виявлено протипухлинну дію кладоспоролів (F, G, H, I, C, J, B), що синтезуються *Cladosporium cladosporioides* EN-399 на моделі *in vitro* з використанням перещеплюваних клітин A549, HeLa, MCF-7, H446 (рак легень), Huh7 (гепатокарцинома), LM3 (рак печінки). Найбільш активними виявились кладоспороли G, H та C, які мали цитотоксичну активність до більшості ракових клітин. Проте найбільш ефективним був кладоспорол H, що може бути пов'язано з наявністю в його складі дигідро-1,4-нафтохінонового фрагменту [28].

З червоних водоростей *Grateloupia turuturu* був виділений штам ендоефітних грибів *Paecilomyces variotii* EN-291. Встановлено його здатність синтезувати пренільовані індольні алкалоїди: дигідрокарнеамід А та ізо-нотамід В. Ці сполуки мали слабку протипухлинну дію на моделі раку легень з використанням лінії клітин NCI-H460 [17]. У подальшому серед метаболітів штаму EN-291 було виявлено та ідентифіковано нові речовини — варіолоїди А та В. Вони проявили сильну протипухлинну дію *in vitro* на моделі раку товстого кишечника (клітини HCT-116), а також при використанні перещеплюваних клітин HepG2 і A549 [32].

Ангіогенез — це процес формування кровоносних судин з існуючої судинної мережі до пухлини, саме він є однією з причин швидкого росту злоякісних пухлин та їх метастазування. Lee зі співавтор. дослідили антиангіогенні властивості фомакетиду А, що синтезується ендоефітними грибами *Phoma* sp. NTOU4195. У досліджах *in vitro* автори використовували ендотеліальні клітини-попередники (EPCs), які утворюються в кістковому мозку і опосередковують ранній ріст пухлини і пізню метастатичну прогресію через індукцію ангіогенезу [18].

Гриби *Eutypella scoparia* PSU-H267 були виділені з листя *Hevea brasiliensis*. Серед метаболітів цього штаму ідентифіковано фенохалазин В, який показав протипухлинну активність на моделі раку порожнини рота людини (перещеплювана лінія клітин KB) [29].

Л-аспарагіназа використовується при лікуванні різних пухлин — лімфоми Ходжкіна, гострого лімфоцитарного та мієлоцитарного лейкозу, лімфосаркоми, меланосаркоми тощо. Цей фермент отримують за допомогою бактерій, проте бактеріальна Л-аспарагіназа має ряд побічних ефектів: викликає панкреатит, дисфункцію печінки, а також призводить до розладів нервової системи. Тому нині розпочали досліджувати можливість використання грибної Л-аспарагінази як протипухлинного засобу. Так, на моделі лейкемії (клітинна лінія Jurkat) показано протипухлинну активність Л-аспарагінази, що синтезується *Fusarium culmorum* ASP-87 [19].

Серед вторинних метаболітів *Chaetomium* sp. 88194 були виділені та ідентифіковані індольні дикетопіперазини: хетокохін G, оїдіоперазин E і хетосемінудин E. Протипухлинні властивості були виявлені у хетокохіну G при ви-

користанні перещеплюваної лінії клітин MCF-7. Сполука викликала апоптоз ракових клітин, збільшуючи експресію генів, які кодують проапоптичні білки і понижуючи активність гену *Bcl-2*, що пригнічує розвиток апоптозу [14].

Нещодавно ідентифіковано нову низькомолекулярну сполуку, яку синтезують клітини *Trichoderma hazianum* Rifai — трихоміцин. Показано широкий спектр протипухлинної активності трихоміцину на різних моделях пухлин *in vitro*: рак товстого кишечника (HCT-116, HT-29), рак шлунку (BGC823), рак легень (A549), рак молочної залози (MCF-7), рак нирок (ACHN), рак шийки матки (SMMC-7721), рак підшлункової залози (SW1990) тощо. Встановлено, що досліджувана сполука індукує апоптоз ракових клітин за допомогою інгібування передачі сигналів IL-6/JAK/STAT3 [20].

Виявлено, що клітини *Stachybotrys chartarum* PT2-12 синтезують сім нових похідних фенілспіродріману — стахібохартини А-Г. Серед них, при використанні перещеплюваних ракових клітин MDA-MB-231 (потрійний негативний рак молочної залози) і U-2OS (остеосаркома), найбільшу активність виявили стахібохартини А-Д і Г. Саме стахібохартин Г мав найвищий показник протипухлинної дії, а механізм його протиракової активності полягає в активації каспазозалежного апоптозу в пухлинних клітинах [30].

У табл. 1. наведена узагальнена інформація про різні протипухлинні сполуки, які синтезуються міцеліальними грибами.

Таблиця 1. Особливості біотехнології та протипухлинна активність *in vitro* метаболітів міцеліальних грибів

Продуцент	Умови культивування (джерело вуглецю та азоту (г/л))	Ідентифікована сполука	Проти- пухлинна активність* (лінія клі- тин)	Джере- ло
1	2	3	4	5
<i>A. tennesseensis</i> OUCMBP140430	28°C, статичні умови, 30 діб (манітол — 20, глюкоза — 10, пептон — 3, дріжджовий екстракт — 5)	Похідне дигідробензо- фурану	7 мкг/мл (THP-1)	[15]
<i>Aspergillus</i> sp. XNM-4	25°C, pH 5,6, поверхневе культивування 10 діб (солодовий екстракт — 130)	Асперпірон А	8,25 мкг/мл (PANC-1)	[16]
<i>A. niger</i>	25°C, 110 об/хв, 8 діб (картопляно-декстрозний бульйон)	Асперазин	56,3 мМ (A2780)	[10]
<i>A. terreus</i>	28°C, 35 діб, статичні умови (рис:вода — 1:1)	Похідне бутеноліду	5,3 мкМ (PANC-1)	[7]
<i>P. brocae</i> MA-231	28°C, 150 об/хв, 4 доби (глюкоза — 14, манітол — 9,6, глутамат натрію — 1,2)	Броказин Г	664 нМ (A2780), 661 нМ (A2780 CisR)	[27]
<i>P. chrysogenum</i> V11	28°C, 30 діб, статичні умови (рис:вода — 1:1)	Пенохалазин І	7,3 мкМ (SGC-7901), 7,5 мкМ (MDA-MB- 435)	[12]

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
<i>P. janthinellum</i> HDN13-309	28°C, 28 діб (мальтоза — 20, маніт — 20, глюкоза — 10, глутамат натрію — 10, дріжджовий екстракт — 3, кукурудзяний сироп — 0,5)	Пенісульфуранол А	0,1 мкМ (HL-60), 0,5 мкМ (HeLa)	[31]
<i>P. brefeldianum</i> XMK-2	28°C, 35 діб, статичні умови (рис:вода — 0,8:1,2)	Спіротрипростатин F	14,1 мкМ/л (HepG2)	[13]
<i>Penicillium</i> sp. L129	28°C, 40 діб, статичні умови (рис:вода — 0,8:1,2)	Пеніхінон А	9,01 мкМ (U87), 12,39 мкМ (MCF-7), 14,59 мкМ (PC3)	[25]
<i>C. cladosporioides</i> EN-399	24°C, 30 діб, статичні умови (рис — 70, пептон — 0,3; кукурудзяний екстракт — 0,1)	Кладоспорол Н	1,0 мкг/мл (Huh7), 4,1 мкг/мл (LM3), 5,0 мкг/мл (A549)	[28]
<i>P. variotii</i> EN-291	24°C, pH 7, 30 діб, статичні умови (манітол — 20, глюкоза — 10, пептон — 3, дріжджовий екстракт — 5)	Варіолоїд А	2,5 мкг/мл (HepG2)	[32]
		Варіолоїд В	4,6 мкг/мл (A549)	
<i>Phoma</i> sp. NTOU4195	25—30°C, 10 діб (декстроза — 30, пептон — 6, дріжджовий екстракт — 3)	Фомакетид А	8,1 мкМ (EPCs)	[18]
<i>E. scoparia</i> PSU-H267	24°C, 28 діб (картопляно-декстрозний відвар)	Фенохалазин В	2,46 мкМ (KB)	[29]
<i>F. culmorum</i> ASP-87	30°C, 120 об/хв, 96 год (L-аспарагін — 10, глюкоза — 2)	L-аспарагіназа	90 мкг/мл (Jurkat)	[19]
<i>Chaetomium</i> sp. 88194	25°C, 28 діб, статичні умови (рис:вода — 1:1)	Хетокохін G	8,3 мг/мл (MCF-7)	[14]
<i>T. hazianum</i> Rifai	25°C, pH 6, 210 об/хв, 120 год (глюкоза — 20, гліцерин — 10, соєвий екстракт — 20, пептон — 10)	Трихоміцин	1,96 мкМ (HCT-116), 5,39 мкМ (BGC823)	[20]
<i>S. chartarum</i> PT2-12	28°C, 45 діб, статичні умови (рис:вода — 3,2:4)	Стахібохартин G	4,5 мкМ (U-2OS)	[30]

Примітка: * — наведена концентрація досліджуваної сполуки, що викликає 50% лізису моношару ракових клітин (індекс цитотоксичності, IC₅₀).

Бактеріальні метаболіти. Серед бактерій, у яких виявлено здатність до синтезу протипухлинних сполук, велику групу складають стрептоміцети [8; 21—23; 33—35]. Крім цієї групи бактерій, за останні п'ять років досліджено представників інших родів, при культивуванні яких синтезуються протиракові метаболіти [9; 24; 26; 36—39].

Під *Streptomyces*. Бактерії цього роду є продуцентами багатьох біологічно активних сполук, які мають антибактеріальні, протигрибкові, противірусні, антитромботичні й протипухлинні властивості. На сьогодні продовжуються дослідження з виділення нових штамів бактерій роду *Streptomyces*, їх моди-

фікації та вивчення біологічних властивостей нових метаболітів стрептоміцетів [40].

Із зразків ґрунту виділений штам *Streptomyces* sp. AGM12-1. Штам синтезує сполуку, яка є похідною дикетопіперазину і була ідентифікована як цикло(S-пролін-S-валін). Речовина проявила протипухлинну активність на перещеплюваних клітинах HepG2 і HCT-116. З метою отримання цикло(S-проліну-S-валіну) з високою протипухлинною активністю автори провели дослідження з оптимізації складу поживного середовища (підбір різних джерел вуглецю та азоту, а також їх концентрацій), вибору оптимального рН й тривалості культивування. При цьому автори не наводять концентрацію вказаної сполуки у культуральній рідині [21].

На моделі гепатоцелюлярної карциноми людини *in vitro* показано протипухлинну дію епсилон-полі-L-лізину (ϵ -PL), який синтезується *Streptomyces albulus* NK660 [33]. Досліджено вплив рН на синтез ϵ -PL в процесі біосинтезу. На початку культивування штаму NK660 значення рН було на рівні 7, а через 48 год почало знижуватись і на 54 год культивування рівень рН становив 4 і не змінювався до кінця процесу біосинтезу. Встановлено, що саме при досягненні рН 4 розпочинається синтез ϵ -PL бактеріями *S. albulus* NK660 [22].

Streptomyces peucetius є продуцентом доксорубіцину — антрациклінового антибіотику, який використовується при хіміотерапії злоякісних пухлин. Wang зі співор., використовуючи метод УФ-опромінення та дію потоку гелієвої плазми, отримали мутантний штам *S. peucetius* 33-24, який синтезував доксорубіцин у концентрації 570 мг/л. При цьому вихідний штам *S. peucetius* SIPI-11 продукував майже у 5 разів менше антибіотику. Здійснивши оптимізацію складу поживного середовища та параметрів культивування, автори визначили оптимальні дані для підвищеного синтезу доксорубіцину. В результаті його концентрація у культуральній рідині збільшилась майже вдвічі і становила 1100 мг/л [34]. На моделі раку язика з використанням клітинної лінії H357 було встановлено, що доксорубіцин знижує рівень експресії та активність РНК-хелікази DDX3 у ракових клітинах. Отже, цей антибіотик можна буде також використовувати при лікуванні пухлин, асоційованих з DDX3 [41].

На експериментальній моделі раку шийки матки *in vitro* показано протипухлинну активність аналогу аклаціноміцину (акларубіцину), який продукується *Streptomyces lavendofoliae* (Y8). Вказана сполука виявила антиметастатичну активність на клітинній лінії HeLa, навіть при її використанні у кількості 1 мкМ, що є майже втричі нижчим за встановлений індекс цитотоксичності [23].

З морської губки *Dysidea avara* був виділений штам *Streptomyces* sp. SP 85, який синтезував сполуку, що за будовою була похідною олівоміцину А. Сполука на моделі колоректальної аденокарциноми з використанням лінії клітин SW480 проявила протипухлинну дію, що була у кілька разів сильнішою порівняно з доксорубіцином [8].

Із супернатанту *Streptomyces nigra* sp. nov. 452^T були виділені та ідентифіковані різні сполуки, що є похідними дикетопіперазину. Серед них найбільшу протипухлинну активність *in vitro* виявили цикло(пролін-аланін) на моделі раку легень і цикло(пролін-фенілаланін) на моделі раку товстого кишечника [35].

Бактерії інших родів. У 2018 р. із роду *Streptomyces* був виокремлений рід *Embleya*. На сьогодні цей рід включає два види: *E. scabrispora* і *E. hyaline*. Нещодавно із ризосферного ґрунту пшениці було виділено штам *Embleya* NEAU-wh-3-1, який продукував ряд протипухлинних речовин. Найбільш активною виявилась сполука, яку було ідентифіковано як аналог цинкофोरину, тож її названо цинкофорином В [26].

Протипухлинну дію в експериментах *in vitro* та *in vivo* проявив сконцентрований у 10 разів депротейнізований супернатант *Rhodococcus* sp. lut0910. Він показав антипроліферативну дію на клітинах HepG2 та HeLa. У дослідях з використанням лабораторних мишей BALB/c з трансплантованими клітинами гепатокарциноми H22 при пероральному введенні досліджуваного розчину метаболітів спостерігали зменшення розмірів пухлини [24].

Молочнокислі бактерії *Enterococcus faecium* GR7 синтезують фермент аргінін-деїміназу, який проявляє активність проти меланоми, гепатокарциноми та інших пухлин. Кауг зі співавтор. оптимізували склад поживного середовища з метою отримання ферменту з високою активністю при культивуванні штаму GR7. У результаті активність ферменту зросла у 23,5 раза, а кількість біомаси клітин — у 2,3 раза. Також автори перевірили різні способи виділення й очистки аргінін-деїмінази з метою отримання максимально очищеного ферменту з високою активністю. Ефективним виявився триступеневий спосіб з використанням амоній сульфату з подальшою ультрафільтрацією із застосуванням діалізних касет і гель-фільтрації за допомогою сефадексу G-100 [36].

Із зразків поверхневих вод Антарктики виділено бактерії *Bacillus* sp. N11-8. Їхні внутрішньо- та позаклітинні метаболіти проявили протипухлинну дію *in vitro* з використанням перещеплюваних ракових клітин A549, MCF-7, U251 (клітини гліоми), RKO (карцинома товстого кишечника). В той же час метаболіти штаму N11-8 мали низьку цитотоксичність до неракової клітинної лінії HFL1 (фібробласти легень людини) [37].

Нещодавно були дослідженні внутрішньоклітинні метаболіти морських бактерій *Bacillus velezensis* RP137, які показали протипухлинну активність на перещеплюваних клітинах HepG2, HeLa, A449 та MCF-7. З метою збільшення синтезу концентрації біомаси та протипухлинних метаболітів оптимізовані джерела вуглецю (пшеничне борошно, рисовий крохмаль, рисова патока) та азоту (сульфат амонію, нітрат калію, пептон), які входили до складу поживного середовища при культивуванні штаму RP137. Найбільшу протипухлинну активність проявили метаболіти при вирощуванні цих бактерій на середовищі з рисовим крохмалем і нітратом калію [9].

Латероспорулін 10 (LS10) — дефенсиноподібний бактеріоцин білкової природи, продуцентом якого є *Brevibacillus* sp. SKDU10. На сьогодні є дослідження, які підтвердили антимікробні властивості даної сполуки [38]. Baindara зі співавт. встановили протипухлинну дію LS10 *in vitro*, працюючи з раковими клітинами MCF-7, HeLa, H1299 (карцинома легень) та HT1080 (фібросаркома). Білок LS10 викликав апоптоз пухлинних клітин при його використанні у концентрації 2,5 мкМ, а при збільшенні його концентрації до 15 мкМ спостерігали некротичний ефект пухлинних клітин. Слід наголосити, що LS10 не проявляв цитотоксичної дії при використанні неракових клітин епітелію простати RWPE-1 [39].

Узагальнені дані щодо бактеріальних протиракових метаболітів, які були розглянуті вище, а також умови культивування продуцентів наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Бактерії як продуценти протипухлинних сполук

Продуцент	Умови культивування (джерело вуглецю та азоту (г/л))	Сполука	Проти- пухлинна активність* (лінія клітин)	Джерело
<i>Streptomyces</i> sp. AGM12-1	30°C, pH 7, 11 діб (манітол — 25, сульфат амонію — 2)	Цикло(S- пролін-S- валін)	3,3 мкг/мл (HCl-116), 1,1 мкг/мл (HepG-2)	[21]
<i>S. albulus</i> NK660	30°C, 180 об/хв, pH 7, 9 діб (гліцерин — 210, пептон — 7, сульфат амонію — 19)	ε-PL	13,49 мкг/мл (HepG2)	[22, 33]
<i>S. peucetius</i> 33-24	28°C, pH 6,2, 6 діб (мальтодекстрин — 150, сухі дріжджі — 35)	Доксорубіцин	50 мкМ (H357)	[34, 41]
<i>S. lavendofoliae</i> (Y8)	30°C, 130 об/хв, pH 7, 10 діб (крохмаль — 10, пептон — 10)	Аналог акларубіцину	2,9 мкМ (HeLa)	[23]
<i>Streptomyces</i> sp. SP 85	28°C, pH 7,3, 5 діб (крохмаль — 8, солодовий екстракт — 10, гліцерин — 2, триптон — 1, дріжджовий екстракт — 3)	Похідне олівоміцину А	16 нМ (SW480), 78 нМ (MCF7), 93 нМ (HepG2)	[8]
<i>S. nigra</i> sp. nov. 452 [†]	30°C, 180 об/хв, 10 діб (пептон — 5, дріжджовий екстракт — 1)	цикло(про- ала)	18,5 мкг/мл (A549)	[35]
		цикло(про- фен)	32,3 мкг/мл (HCT-116)	
<i>Embleya</i> NEAU- wh-3-1	28°C, 250 об/хв, pH 7,2—7,4, 7 діб (мальтодекстрин — 40, лактоза — 40, дріжджовий екстракт — 5)	Цинкофорин В	9,6 мкг/мл (HepG2)	[26]
<i>Rhodococcus</i> sp. Lut0910	30°C, 180 об/хв, 48 год (глюкоза — 10, пептон — 5)	Депротеїні- зований супернатант	73,39 мкг/мл (HepG2), 33,09 мкг/мл (Hela)	[24]
<i>E. faecium</i> GR7	30°C, pH 6, 24 год (лактоза — 10, триптон — 15, аргінін — 20 мМ)	Аргінін- деїміназа	1,95 мкг/мл (HepG2)	[36]
<i>Bacillus</i> sp. N11-8	25°C, 200 об/хв, pH 6,5—7, 48 год (триптон — 10, екстракт яловичини — 3)	Внутрішньо- та позаклітинні метаболіти	30,15 мкг/мл (MCF-7), 45,1 мкг/мл (RKO), 55 мкг/мл (U251)	[37]
<i>B. velezensis</i> RP137	30°C, 180 об/хв, 7 діб (рисовий крохмаль — 15, нітрат калію — 15, дріжджовий екстракт — 1)	Внутрішньо- клітинні метаболіти	8,7 мкг/мл (HepG2), 7,3 мкг/мл (HeLa)	[9]
<i>Brevibacillus</i> sp. SKDU10	37°C, 30 год (пептон — 10, екстракт яловичини — 10)	Латеро- спорулін 10	10 мкМ** (MCF-7, HEK293T, HT1080, HeLa, H1299)	[38, 39]

Примітка: * — наведена концентрація досліджуваної речовини, що викликає 50% лізису моношару ракових клітин (індекс цитотоксичності, IC₅₀); ** — наведено значення IC₇₀.

Метаболіти дріжджів. На сьогодні є невелика кількість повідомлень про можливість використання дріжджів для синтезу протипухлинних сполук. Зокрема, для отримання носкапіну [4] та ганодерної кислоти [5] ведуться дослідження з конструювання рекомбінантних продуцентів. Також виявлено протипухлинні властивості софороліпідів природного штаму дріжджів [6].

Носкапін — це алкалоїд фталідизохіноліна, що має протипухлинні властивості. На моделях аденокарциноми молочної залози (клітинні лінії MCF-7 та MDA-MB-231) показано, що носкапін індукує апоптоз у ракових клітинах [42]. Природним джерелом носкапіну є мак *Papaver somniferum*. Тому на сьогодні ведуться роботи з конструювання рекомбінантних мікроорганізмів, які були б здатні синтезувати цю сполуку, а також з оптимізації параметрів їх культивування. Так, Лі зі співавтор. було здійснено оптимізацію складу джерел вуглецю (декстроза, галактоза, сахароза, трегалоза, гліцерин) у поживному середовищі з метою отримання максимальної концентрації носкапіну в процесі культивування генетично модифікованого штаму *Saccharomyces cerevisiae* CSY1153. У результаті концентрація носкапіну при культивуванні штаму CSY1153 зросла з 15 мкг/л до 2,2 мг/л [4].

Ганодерна кислота має протипухлинні та антиметастатичні властивості [5]. Також було показано її здатність *in vitro* індукувати апоптоз та зупиняти ріст мультиформної гліобластоми (лінія клітин U251), яка є найбільш агресивною формою пухлини мозку [43]. Lan зі співавторами сконструювали штам дріжджів *S. cerevisiae* CYP5150L8-г-iGLCPR-г, здатний синтезувати ганодерну кислоту (GA-HLDOA). Для цього в клітини дріжджів були введені гени, що відповідають за біосинтез GA-HLDOA із трутовика *Ganoderma lucidum*. Автори оптимізували склад поживного середовища для культивування дріжджів, в результаті чого концентрація GA-HLDOA збільшилась в 10,5 раза і становила 154,45 мг/л [5].

На моделі раку шийки матки (лінії клітин HeLa і CaSki) показано притипухлинну дію софороліпідів *Starmarella bombicola* CGMCC 1576. Штам синтезує шість різних софороліпідів. Найбільша протипухлинна активність виявлена у диацетильованого лактонного (C18:1) софороліпиду, який викликав апоптоз ракових клітин і при цьому не був токсичним при використанні нормальних (неракових) клітин [6].

Сполуки, які можна отримати з використанням дріжджів, і дані про їхню протипухлинну дію *in vitro* наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Протипухлинна активність сполук, що синтезуються дріжджами

Продуцент	Особливості культивування (джерело вуглецю та азоту (г/л)	Сполука	Протипухлинна активність* (лінія клітин)	Джерело
1	2	3	4	5
<i>S. cerevisiae</i> CSY1153	25°C, 96 год (декстроза — 20, гліцерин — 100, пептон — 20, дріжджовий екстракт — 10)	Носкапін	54 мкМ (MCF-7), 29 мкМ (MDA-MB-231)	[4; 42]
<i>S. cerevisiae</i> CYP5150L8-г-iGLCPR-г	30°C, 220 об/хв, 144 год (гліцерин — 40 г/л, глюкоза — 20, пептон — 20, дріжджовий екстракт — 10)	Ганодерна кислота	20 мг/мл викликає 26% апоптозу (U251)	[5; 43]

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
<i>S. bombicola</i> CGMCC 1576	30°C, 200 об/хв, 168 год (глюкоза — 80, дріжджовий екстракт — 3, рапсове або лляне масло — 60)	Диацетильований лактонний (C18:1) софороліпід	12,23 мкг/мл (HeLa), 25,45 мкг/мл (CaSki)	[6]

Примітка: * — наведена концентрація досліджуваної сполуки, що викликає 50% лізису моношару ракових клітин (індекс цитотоксичності, IC₅₀).

Висновки

За останні п'ять років з різних джерел були виділені та ідентифіковані мікроорганізми, які синтезують протипухлинні сполуки. При цьому вони по-різному виявляють свої властивості з огляду на експериментальну модель. У більшості проаналізованих статей автори виділяють, очищають та ідентифікують нові сполуки, які володіють протипухлинними властивостями. Проте дослідники не визначають, у якій концентрації синтезується біологічно активний метаболіт під час культивування та не проводять оптимізацію процесу біосинтезу. Тому наступним етапом досліджень має стати оптимізація параметрів культивування продуцента з метою отримання високих концентрацій нових протипухлинних сполук.

Література

1. Ashu E. E., Xu J., Yuan Z. C. Bacteria in cancer therapeutics: a framework for effective therapeutic bacterial screening and identification. *J. Cancer*. 2019, 10 (8): 1781-1793. doi: 10.7150/jca.31699.
2. Senthebane D. A., Rowe A., Thomford N. E., Shipanga H., Munro D., Mazeedi M. A., Almazyadi H. A. M., Kallmeyer K., Dandara C., Pepper M. S., Parker M. I., Dzobo K. The role of tumor microenvironment in chemoresistance: to survive, keep your enemies closer. *Int. J. Mol. Sci*. 2017, 18 (7): E1586. doi: 10.3390/ijms18071586.
3. Giddings L. A., Newman D. J. Microbial natural products: molecular blueprints for antitumor drugs. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol*. 2013, 40 (11): 1181—1210. doi: 10.1007/s10295-013-1331-1.
4. Li Y., Li S., Thodey K., Trenchard I., Cravens A., Smolke C. D. Complete biosynthesis of noscapine and halogenated alkaloids in yeast. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2018, 115 (17): E3922-E3931. doi: 10.1073/pnas.1721469115.
5. Lan X., Yuan W., Wang M., Xiao H. Efficient biosynthesis of antitumor ganoderic acid HLDOA using a dual tunable system for optimizing the expression of CYP5150L8 and a *Ganoderma* P450 reductase. *Biotechnol. Bioeng*. 2019, 116 (12): 3301—3311. doi: 10.1002/bit.27154.
6. Li H., Guo W., Ma X. J., Li J. S., Song X. *In vitro* and *in vivo* anticancer activity of sophorolipids to human cervical cancer. *Appl. Biochem. Biotechnol*. 2017, 181 (4): 1372—1387. doi: 10.1007/s12010-016-2290-6.
7. Qi C., Gao W., Guan D., Wang J., Liu M., Chen C., Zhu H., Zhou Y., Lai Y., Hu Z., Zhou Q., Zhang Y. Butenolides from a marine-derived fungus *Aspergillus terreus* with antitumor activities against pancreatic ductal adenocarcinoma cells. *Bioorg. Med. Chem*. 2018, 26 (22): 5903—5910. doi: 10.1016/j.bmc.2018.10.040.
8. Gozari M., Bahador N., Mortazavi M. S., Eftekhari E., Jassbi A. R. An “olivomycin A” derivative from a sponge-associated *Streptomyces* sp. strain SP 85. *3 Biotech*. 2019, 9 (12): 439. doi: 10.1007/s13205-019-1964-5.
9. Pournejati R., Karbalaee-Heidari H. R. Optimization of fermentation conditions to enhance cytotoxic metabolites production by *Bacillus velezensis* strain RP137 from the persian gulf. *Avicenna J. Med. Biotech*. 2020, 12 (2): 116—123.
10. Li X. B., Li Y. L., Zhou J. C., Yuan H. Q., Wang X. N., Lou H. X. A new diketopiperazine heterodimer from an endophytic fungus *Aspergillus niger*. *J. Asian Nat. Prod. Res*. 2015, 17 (2): 182—187. doi: 10.1080/10286020.2014.959939.

11. Goutam J., Sharma G., Tiwari V. K., Mishra A., Kharwar R. N., Ramaraj V., Koch B. Isolation and characterization of “Terrein” an antimicrobial and antitumor compound from endophytic fungus *Aspergillus terreus* (JAS-2) associated from *Achyranthus aspera* Varanasi, India. *Front. Microbiol.* 2017, 8: 1334. doi: 10.3389/fmicb.2017.01334.
12. Huang S., Chen H., Li W., Zhu X., Ding W., Li C. Bioactive chaetoglobosins from the mangrove endophytic fungus *Penicillium chrysogenum*. *Mar. Drugs.* 2016, 14 (10): E172. doi: 10.3390/md14100172.
13. Gao N., Shang Z.-C., Yu P., Luo J., Jian K.-L., Kong L.-Y., Yang M.-H. Alkaloids from the endophytic fungus *Penicillium brefeldianum* and their cytotoxic activities. *Chinese Chemical Letters.* 2017, 28 (6): 1194—1199. doi: 10.1016/j.ccl.2017.02.022.
14. Wang F. Q., Tong Q. Y., Ma H. R., Xu H. F., Hu S., Ma W., Xue Y. B., Liu J. J., Wang J. P., Song H. P., Zhang J. W., Zhang G., Zhang Y. H. Indole diketopiperazines from endophytic *Chaetomium* sp 88194 induce breast cancer cell apoptotic death. *Sci. Rep.* 2015, 5: 9294. doi: 10.1038/srep09294.
15. Li Z. X., Wang X. F., Ren G. W., Yuan X. L., Deng N., Ji G. X., Li W., Zhang P. Prenylated diphenyl ethers from the marine algal-derived endophytic fungus *Aspergillus tennesseensis*. *Molecules.* 2018, 23 (9): 1-7. doi: 10.3390/molecules23092368.
16. Xu K., Guo C., Shi D., Meng J., Tian H., Guo S. Discovery of natural dimeric naphthopyrones as potential cytotoxic agents through ROS-mediated apoptotic pathway. *Mar. Drugs.* 2019, 17 (4): E207. doi: 10.3390/md17040207.
17. Zhang P., Li X. M., Wang J. N., Li X., Wang B. G. Prenylated indole alkaloids from the marine-derived fungus *Paecilomyces variotii*. *Chinese Chem. Lett.* 2015, 26 (3): 313—316. doi: 10.1016/j.ccl.2014.11.020.
18. Lee M. S., Wang S. W., Wang G. J., Pang K. L., Lee C. K., Kuo Y. H., Cha H. J., Lin R. K., Lee T. H. Angiogenesis inhibitors and anti-inflammatory agents from *Phoma* sp. NT0U4195. *J. Nat. Prod.* 2016, 79 (12): 2983—2990. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b00407.
19. Meghavarnam A. K., Salah M., Sreepriya M., Janakiraman S. Growth inhibitory and proapoptotic effects of L-asparaginase from *Fusarium culmorum* ASP-87 on human leukemia cells (Jurkat). *Fundam. Clin. Pharmacol.* 2017, 31 (3): 292—300. doi: 10.1111/fcp.12257.
20. Zhu F., Zhao X., Li J., Guo L., Bai L., Qi X. A new compound Trichomicin exerts antitumor activity through STAT3 signaling inhibition. *Biomed. Pharmacother.* 2020, 121: 109608. doi: 10.1016/j.biopha.2019.109608.
21. Ahmad M. S., El-Gendy A. O., Ahmed R. R., Hassan H. M., El-Kabbany H. M., Merdash A. G. Exploring the antimicrobial and antitumor potentials of *Streptomyces* sp. AGM12-1 isolated from egyptian soil. *Front. Microbiol.* 2017, 8: 438. doi: 10.3389/fmicb.2017.00438.
22. Geng W., Yang C., Gu Y., Liu R., Guo W., Wang X., Song C., Wang S. Cloning of ϵ -poly-L-lysine (ϵ -PL) synthetase gene from a newly isolated ϵ -PL-producing *Streptomyces albulus* NK660 and its heterologous expression in *Streptomyces lividans*. *Microb. Biotechnol.* 2014, 7 (2): 155—64. doi: 10.1111/1751-7915.12108.
23. Bundale S., Begde D., Pillai D., Gangwani K., Nashikkar N., Kadam T., Upadhyay A. Novel aromatic polyketides from soil *Streptomyces* spp.: purification, characterization and bioactivity studies. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2018, 34 (5): 67. doi: 10.1007/s11274-018-2448-1.
24. Zhang X. G., Liu Z. Y., Liu J. W., Zeng Y. L., Guo G. J., Sun Q. Y. Antitumor activity of a *Rhodococcus* sp. Lut0910 isolated from polluted soil. *Tumour Biol.* 2017, 39 (6): 1010428317711661. doi: 10.1177/1010428317711661.
25. Zhang H. M., Ju C. X., Li G., Sun Y., Peng Y., Li Y. X., Peng X. P., Lou H. X. Dimeric 1,4-benzoquinone derivatives with cytotoxic activities from the marine-derived fungus *Penicillium* sp. L129. *Mar. Drugs.* 2019, 17 (7): E383. doi: 10.3390/md17070383.
26. Wang H., Sun T., Song W., Guo X., Cao P., Xu X., Shen Y., Zhao J. Taxonomic characterization and secondary metabolite analysis of NEAU-wh3-1: an embleya strain with antitumor and antibacterial activity. *Microorganisms.* 2020, 8 (3): E441. doi: 10.3390/microorganisms8030441.
27. Meng L. H., Wang C. Y., Mándi A., Li X. M., Hu X. Y., Kassack M. U., Wang B. G. Three diketopiperazine alkaloids with spirocyclic skeletons and one bis-thiodiketopiperazine derivative from the mangrove-derived endophytic fungus *Penicillium brocae* MA-231. *Organic. Letters.* 2016, 18 (20): 5304—5307. doi: 10.1021/acs.orglett.6b02620.

28. Li H. L., Li X. M., Mandi A., Antus S., Li X., Zhang P., Liu Y., Kurtán T., Wang B. G. Characterization of cladosporels from the marine algal derived endophytic fungus *Cladosporium cladosporioides* EN-399 and configurational revision of the previously reported cladosporel derivatives. *J. Org. Chem.* 2017, 82 (19): 9946—9954. doi: 10.1021/acs.joc.7b01277.
29. Kongprapan T., Rukachaisirikul V., Saithong S., Phongpaichit S., Poonsuwan W., Sakaya-roj J. Cytotoxic cytochalasins from the endophytic fungus *Eutypella scoparia* PSU-H267. *Phytochemistry Letters*. 2015, 13: 171—176. doi:10.1016/j.phytol.2015.06.010.
30. Zhang H., Yang M. H., Zhuo F. F., Gao N., Cheng X. B., Wang X. B., Pei Y. H., Kong L. Y. Seven new cytotoxic phenylspirodrimane derivatives from the endophytic fungus *Stachybotrys chartarum*. *RSC Adv.* 2019, 9: 3520—3531. doi: 10.1039/c8ra10195g.
31. Zhu M., Zhang X., Feng H., Dai J., Li J., Che Q., Gu Q., Zhu T., Li D. Penicisulfuranols A-F, alkaloids from the mangrove endophytic fungus *Penicillium janthinellum* HDN13-309. *J. Nat. Prod.* 2017, 80(1): 71—75. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b00483.
32. Zhang P., Li X. M., Mao X. X., Mandi A., Kurtan T., Wang B.-G. Varioloid A, a new indolyl-6,10b-dihydro-5aH-[1]benzofuro[2,3-b]indole derivative from the marine alga-derived endophytic fungus *Paecilomyces variotii* EN-291. *Beilstein J. Org. Chem.* 2016, 12: 2012—2018. doi: 10.3762/bjoc.12.188.
33. Shi C., Zhao X., Liu Z., Meng R., Chen X., Guo N. Antimicrobial, antioxidant, and antitumor activity of epsilon-poly-L-lysine and citral, alone or in combination. *Food Nutr. Res.* 2016, 60: 31891. doi: 10.3402/fnr.v60.31891.
34. Wang X., Tian X., Wu Y., Shen X., Yang S., Chen S. Enhanced doxorubicin production by *Streptomyces peucetius* using a combination of classical strain mutation and medium optimization. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2018, 48 (6): 514—521. doi: 10.1080/10826068.2018.1466156.
35. Chen C., Ye Y., Wang R., Zhang Y., Wu C., Debnath S. C., Wu M. *Streptomyces nigra* sp. nov. is a novel actinobacterium isolated from mangrove soil and exerts a potent antitumor activity *in vitro*. *Frontiers in Microbiology*. 2018, 9. doi: 10.3389/fmicb.2018.01587.
36. Kaur B., Kaur R. Purification of a dimeric arginine deiminase from *Enterococcus faecium* GR7 and study of its anti-cancerous activity. *Protein Expr. Purif.* 2016, 125: 53—60. doi: 10.1016/j.pep.2015.09.011.
37. Lanhong Z., Kangli Y., Jia Liu, Mi S., Jiancheng Z., Mei L., Daole K., Wei W., Mengxin X., Zhao L. Screening of microorganisms from Antarctic surface water and cytotoxicity metabolites from Antarctic microorganisms. *Food Sci. Nutr.* 2016, 4(2): 198—206. doi: 10.1002/fsn3.273.
38. Baindara P., Singh N., Ranjan M., Nallabelli N., Chaudhry V., Pathania G.L., Sharma N., Kumar A., Patil P.B., Korpole S. Laterosporulin10: a novel defensin like class IId bacteriocin from *Brevibacillus* sp. strain SKDU10 with inhibitory activity against microbial pathogens. *Microbiology*. 2016, 162 (8): 1286—1299. doi: 10.1099/mic.0.000316.
39. Baindara P., Gautam A., Raghava P. S., Korpole S. Anticancer properties of a defensin like class IId bacteriocin Laterosporulin10. *Sci. Rep.* 2017, 7: 46541. doi: 10.1038/srep46541.
40. Palazzotto E., Tong Y., Lee S. Y., Weber T. Synthetic biology and metabolic engineering of actinomycetes for natural product discovery. *Biotechnol. Adv.* 2019, 37 (6): 107366. doi: 10.1016/j.biotechadv.2019.03.005.
41. Botlagunta M., Kollapalli B., Kakarla L., Gajarla S. P., Gade S. P., Dadi C. L., Penumadu A., Javeed S. *In vitro* anti-cancer activity of doxorubicin against human RNA helicase, DDX3. *Bioinformation*. 2016, 12 (7): 347—353. doi: 10.6026/9732063001234.
42. Quisbert-Valenzuela E. O., Calaf G. M. Apoptotic effect of noscapine in breast cancer cell lines. *Int. J. Oncol.* 2016, 48 (6): 2666—2674. doi: 10.3892/ijo.2016.3476.
43. Cheng Y., Xie P. Ganoderic acid A holds promising cytotoxicity on human glioblastoma mediated by incurring apoptosis and autophagy and inactivating PI3K/AKT signaling pathway. *J. Biochem. Mol. Toxicol.* 2019, 33 (11): e22392. doi: 10.1002/jbt.22392.

IMPLEMENTATION OF INTERNATIONAL BANK OF RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT PROJECTS IN UKRAINE

A. Melnyk, M. Polishchuk

Kyiv National University of Technologies and Design

M. Bilko

National University of Food Technologies

Key words:

International bank for reconstruction and development, Investment projects, Financial organization, Loans, International relations

Article history:

Received 14.04.2020

Received in revised form 30.04.2020

Accepted 13.05.2020

Corresponding author:

M. Bilko

E-mail:

aromat@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the activities of the International Bank for reconstruction and development (IBRD) as one of the most important organizations-the creditors of long-term projects for countries that are developing. The analysis of its activities in the world economic practice, the specifics of the loans on the volumes and sectors of the economies and the attraction of foreign capital as an aid to economic development and the implementation of structural reforms.

The advantages and disadvantages of IBRD projects in Ukraine are shown based on the review of the literature. The economic relations between Ukraine and the IBRD, which arise in the process of cooperation, are studied. A significant number of investment programs was carried out at the expense of IBRD funds, the results of projects to modernize the system of social support of the population of Ukraine were analyzed. The main projects implemented to improve economic development and problems related to their implementation in the period of 2014—2019 are considered, including “Construction of Kaniv PSP”, “Improving energy efficiency in the district heating sector”, “Development of urban infrastructure”, “Improving health care at the service of people” etc.

The state of the economic situation of our country and the influence of international financial organizations on the economic activity of Ukraine have been studied. The problems of such cooperation that the country may face and recommendations for their solution are considered. It is proved that for stable economic development of the country effective financial system should be applied, which is a decisive factor for the reliability of economic security. It is important for Ukraine to cooperate with international financial-credit organizations, because in our country there is a key problem in finding sufficient financial resources to overcome crisis and development of the state.

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТІВ МІЖНАРОДНОГО БАНКУ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ

А. О. Мельник, М. Р. Поліщук

Київський національний університет технологій та дизайну

М. В. Білько

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано діяльність Міжнародного банку реконструкції та розвитку (МБРР) як однієї з найважливіших організацій-кредиторів довгострокових проєктів для країн, що розвиваються. Звернено увагу на специфіку надання кредитів щодо обсягів та галузей економіки країн і досвід залучення іноземного капіталу як допомоги для економічного розвитку й реалізації структурних реформ.

На основі огляду літературних джерел показано переваги та недоліки реалізації проєктів МБРР в Україні. Досліджено економічні відносини України та МБРР, які виникають в процесі співпраці. Проаналізовано значну кількість інвестиційних програм, які здійснювалися за рахунок фінансових коштів МБРР, результати реалізації проєктів щодо модернізації системи соціальної підтримки населення України.

Розглянуто основні проєкти, які реалізуються для покращення економічного розвитку, та проблеми, пов'язані з їх впровадженням в період 2014—2019 рр., серед яких «Будівництво Канівської ГАЕС», «Підвищення енергоефективності в секторі централізованого теплопостачання», «Розвиток міської інфраструктури», «Поліпшення охорони здоров'я на службі у людей» тощо.

Вивчено економічне становище та вплив міжнародних фінансових організацій на економічну діяльність України. Розглянуто проблеми такої співпраці, з якими може зіштовхнутися країна, та надано рекомендації щодо їх вирішення.

Доведено, що для стабільного економічного розвитку країни слід застосовувати ефективну фінансову систему, яка є вирішальним чинником надійності економічної безпеки. Україні важливо підтримувати співпрацю з міжнародними фінансово-кредитними організаціями, оскільки ключова проблема полягає в пошуках достатніх фінансових ресурсів для подолання кризових явищ і розвитку країни.

Ключові слова: Міжнародний банк реконструкції та розвитку, інвестиційні проєкти, фінансова організація, кредити, міжнародні відносини.

Постановка проблеми. Міжнародні фінансові організації (МФО) є дієвим регулятором міжнародних відносин в економічній сфері. Національна економіка України відчуває недостатність внутрішніх ресурсів та вимагає пошуку шляхів залучення фінансових ресурсів, зокрема тісної співпраці з міжнародними фінансовими інститутами. Таке співробітництво уможливує здійснення системних та структурних реформ в країні, сприяє забезпеченню стабільності національної валюти, створює підґрунтя для сталого економічного зростання, покращення якості життя українців та зміни ставлення до України у світі. Ресурси

міжнародних фінансових інститутів використовуються для реалізації інвестиційних проєктів у різних галузях економічної сфери [1; 2].

Однією з найважливіших МФО є Міжнародний банк реконструкції та розвитку (МБРР), який вважається основним кредитором затверджених ним високо-рентабельних довгострокових проєктів для країн, що розвиваються.

Якщо країна хоче подати заявку у МБРР, вона спочатку повинна стати членом Міжнародного валютного фонду (МВФ). Головною метою МБРР є надання довгострокових позик і кредитів, також гарантія для приватних інвестицій. Банк має такі джерела ресурсів, крім акціонерного капіталу: розміщення облігаційних позик на американському ринку та кошти, отримані від продажу облігацій. МБРР надає кредити на строк до 20 років для покращення виробничих потужностей країн-членів банку, які надають їхнім урядам під гарантію. Також МБРР необхідно надати інформацію про фінансове становище країни-позичальника. Фінансова нестабільність у країні може призвести до певних проблем з провадженням реалізації інвестиційних проєктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання реалізації проєктів МБРР в Україні, їхні переваги та недоліки досліджувалися вітчизняними вченими, зокрема Т. М. Циганковою та Т. Ф. Гордєєвою [3], які вивчали сучасну систему міжнародних валютно-кредитних організацій та окреслили етапи розвитку МФО. У праці Ю. В. Ковбасюка акцентовано увагу на основних проблемах співробітництва України з МФО [4]. Вплив міжнародних фінансових організацій на економічний розвиток країни висвітлено В. П. Колосовою та І. М. Івановою [5], які доводять доцільність кредитування в промисловий сектор економіки. В монографії О. Г. Білорус та ін. розглядалися питання вивчення світової економіки та міжнародних відносин України в умовах глобального конкурентного простору [6]. Темою співпраці України з МБРР також були зацікавлені зарубіжні вчені, які досліджували специфіку діяльності МБРР [7—10]. Незважаючи на те, що достатньо вітчизняних і зарубіжних науковців займалися дослідженням цієї теми, більшість з цих досліджень пов'язані з періодом років, що вже минули, тож не відображають реалії сьогодення, в яких знаходиться наша держава. Тому є ціла низка аспектів, які потребують подальшого вивчення та оцінки результативності співробітництва нашої країни.

Мета дослідження: розкрити основні напрямки розвитку нашої країни з урахуванням певних особливостей діяльності МБРР, які мають переваги для національної економіки у довгостроковій перспективі.

Викладення основних результатів дослідження. Співпраця України з міжнародними фінансово-кредитними організаціями надасть можливість вирішити фінансові проблеми для здійснення різних структурних і системних реформ.

Відомо, що Світовий банк являє собою групу, яка об'єднує декілька організацій: МБРР, Міжнародну асоціацію розвитку (МАР), Міжнародну фінансову корпорацію (МФК), Міжнародний центр урегулювання інвестиційних спорів (МЦУІС), Багатостороннє інвестиційно-гарантійне агентство (БІГА) [11].

МБРР є спеціалізованою установою ООН, це міждержавний інвестиційний інститут, який був заснований разом із Міжнародним валютним фондом (МВФ). Членами банку можуть бути лише члени МВФ. Банк надає кредити

країнам, що розвиваються, строком до 20 років та покриває своїми кредитами лише 30% вартості об'єкта. Найбільша частина кредитів йде в галузі інфраструктури: енергетику, транспорт та зв'язок.

Основна мета МБРР полягає у заохоченні іноземних інвестицій через надання гарантій чи участі в позиках та інших інвестувань приватних кредиторів; у сприянні країнам-членам в розвитку економіки шляхом надання їм довгострокових кредитів та позик; у наданні стимулу для тривалого зростання міжнародної торгівлі, підтримці збалансованих платіжних балансів країн-членів.

Кожна країна, яка є членом МБРР, має свою квоту для отримання капіталу для розвитку (рис. 1).

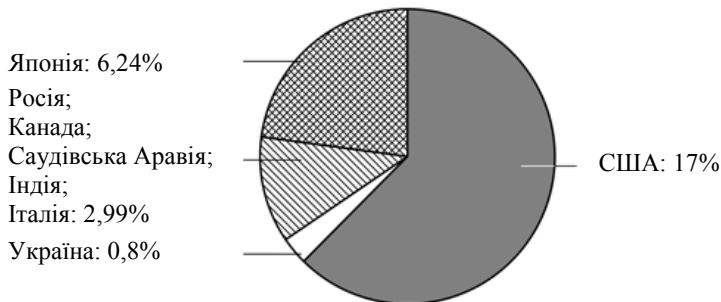


Рис. 1. Квота для отримання капіталу, [11]

Україна почала співпрацювати та набула членства в МБРР у 1992 р. та стала 167 членом цього банку, підписавшись на 908 акцій основного капіталу.

Світовий банк та Україна впроваджують концепцію партнерства на 2017—2021 рр., яка має на меті надати підтримку нашій державі для забезпечення стійкого відновлення економіки. Нова концепція допоможе підвищити ефективність функціонування ринків, створити належні умови для забезпечення фіскальної та фінансової стабільності, підвищення якості надання послуг громадянам країни.

До напрямів взаємодії України зі Світовим банком можна віднести: управління державними фінансами, реформу державного управління, боротьбу з корупцією, поліпшення управління державними інвестиціями, зміцнення фінансового сектору, земельну реформу, реформу охорони здоров'я, якісне надання послуг, приватизацію, соціальну підтримку [12].

Україна від МБРР отримує інвестиційні та системні позики, які обслуговуються державою, технічну допомогу у вигляді грантів на підготовку проєктів та консультативну допомогу. Слід відмітити, що значна кількість інвестиційних програм у період 2014—2019 рр. здійснювалася за рахунок фінансових коштів МБРР (рис. 2).

У 2014—2018 рр. було створено дороговартісні інвестиційні проєкти, які фінансувалися МБРР [13, 14]. Серед них проєкт «Покращення автомобільних доріг та безпеки руху» на суму 450 000 тис. дол. США, проєкт «Будівництво Канівської ГАЕС» (500 000 тис. дол. США). За результатами впровадження останнього проєкту слід відмітити, що введення в експлуатацію Канівської ГАЕС може забезпечити середньомісячну економію природного газу під час

пусків енергоблоків теплових електростанцій в обсязі 10,3 млн куб. м, або 4 млн дол. США.

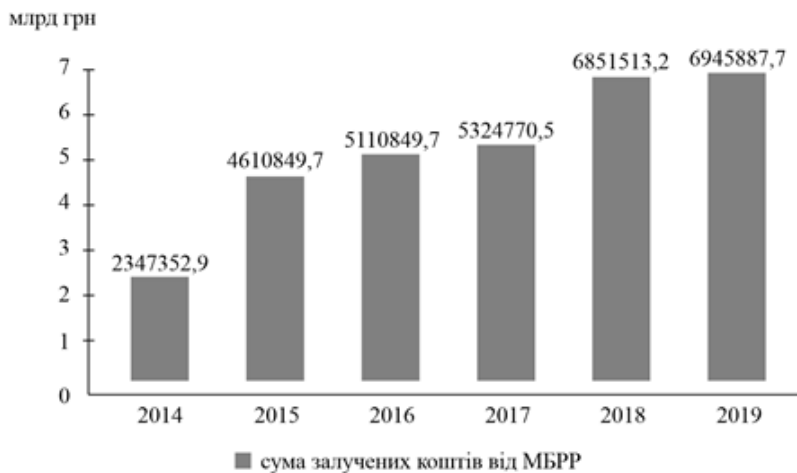


Рис. 2. Залучені кошти для України від МБРР, [13]

Крім того, якщо буде заміщення Канівською гідроакumuлюючою електростанцією енергоблоків теплових електростанцій, середньомісячна економія вугілля очікується в обсязі 43,8 тис. тонн, або 3,9 млн дол. США. Послідовники проекту вважають, що введення в експлуатацію Канівської ГАЕС дасть змогу [15]: задовольнити попит на пікову і напівпікову електроенергію, забезпечити значне підвищення якості електроенергії, яка буде сприяти стабільному функціонуванню всієї енергосистеми України; створити умови для організації паралельної роботи енергосистеми України з енергосистемами країн Східної і Західної Європи.

Ще один проект «Підвищення енергоефективності в секторі централізованого теплопостачання України» передбачає реалізацію 382 000 тис. дол. США [15]. Учасниками проекту є шість підприємств, які надають послуги централізованого теплопостачання. Ці підприємства виконують роботи з модернізації основних виробничих фондів, які дають змогу покращити якість послуг з централізованого теплопостачання з одночасним зменшенням їхньої вартості за рахунок підвищення КПД при виробництві та зменшенні втрат при транспортування тепла. Проект має бути реалізованим до 2020 року. Фінансування проекту складає 272,05 млн дол. США (222,05 млн дол. США від МБРР, 50 млн дол. США від Фонду чистих технологій). В кінці 2017 року вже було укладено сорок контрактів з підприємствами-учасниками на виконання різних видів робіт (від проектування до будівництва) загальною сумою 61,39 млн дол. США [15].

П'ятий проект — «Розвиток міської інфраструктури» (2 350 млн. дол. США). Головна його мета — підвищення якості та надійності послуг КП та їхньої енергоефективності для 6 млн мешканців України в 11 містах шляхом: відновлення та заміни пошкоджених систем водопостачання та водовідведення;

впровадження нових технологій в утилізації ТБО; поліпшення екологічної ситуації через вирішення проблеми очищення стоків та утилізації ТБО; удосконалення інституційного потенціалу на рівні КП, а також на центральному рівні уряду та муніципалітетів; підтримки регулятора в рамкових реформах [15].

Загальна сума позики: 342,107 млн дол. США (292,107 млн дол. США від МБРР та 50 млн дол. США від Фонду чистих технологій). Термін реалізації проєктів — 6 років (з 26 травня 2014 р. до 31 жовтня 2020 р.).

Учасники проєкту є підприємства водоканалів міст України [15]:

- КП «Харківводоканал» — 85,5 млн дол. США;
- КП «Дніпро-Кіровоград» — 44,3 млн дол. США;
- КП «Муніципальна компанія поводження з відходами» (Харків) — 43,9 млн дол. США;
- КП «Житомирводоканал» — 39,9 млн дол. США;
- КП «Тернопільводоканал» — 36,5 млн дол. США;
- КП «Черкасиводоканал» — 12,3 млн дол. США;
- ПрАТ «АК «Київводоканал» — 11,3 млн дол. США;
- КВП «Краматорський водоканал» — 0,343 млн дол. США;
- КП «Коломияводоканал» — 3,1 млн дол. США;
- КП «Нововолинськводоканал» — 5,9 млн дол. США;
- КП «Вінницяоблводоканал» — 40,8 млн дол. США;
- КП «Чугуїввода» — 4,9 млн дол. США.

Всього укладено 47 контрактів на суму 228,49 млн дол. США, також вже завершено 10 контрактів на суму 3,15 млн дол. США. На стадії виконання знаходяться 37 контрактів на суму 225,34 млн дол. США, на стадії оцінки — 8 закупівель оціночною вартістю 28,81 млн дол. США, оголошено торги на закупівлю на суму 5,1 млн дол. США, на стадії підготовки тендерної документації знаходяться 6 закупівель, оціночна вартість якого складає 43,66 млн дол. США.

Від проєкту очікують реконструювання споруд очистки питної води у шести містах; реконструювання споруд очистки стічних вод у чотирьох містах; переоснащення автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП) з використанням SCADA в трьох містах; переоснащення насосної станції водопроводу у трьох містах; переоснащення насосної станції каналізації у трьох містах; виконання замін 115 км водопровідних мереж та 20 км каналізаційних мереж; закупівлю нового лабораторного обладнання для двох водоканалів; закупівлю 58 одиниць спеціальної техніки.

Наступний проєкт «Поліпшення охорони здоров'я на службі у людей» (214 729, 837 тис. дол. США) передбачає комплекс заходів, спрямованих на підтримку реформування системи охорони здоров'я. Проєкт реалізується протягом 5 років (2015—2020 рр.). Головною його складовою є впровадження eHealth — електронної бази охорони здоров'я, в рамках якої планується розробити архітектуру центральних компонентів системи та перші централізовані довідники [15].

Пріоритетна мета проєкту полягає в удосконаленні профілактики та лікування неінфекційних хвороб та механізмів надання послуг. Для цього в областях будуть реалізовані різні пріоритетні напрями: загальне покращення первинної медичної допомоги; боротьба із серцево-судинними захворюваннями на первинному рівні та вторинному рівні; діагностика виявлення раннього раку та ефективна боротьба з цим недугом; раціоналізація системи лікарень та урядування в ній.

Друга складова проєкту спрямована на поліпшення управління системою охорони здоров'я на рівні МОЗ України. Мета полягає у зміцненні стратегічного управління системою охорони здоров'я, забезпечення належної координації діяльності галузі на регіональних рівнях з боку МОЗ. Також проєкт передбачає надання підтримки в інформатизації галузі охорони здоров'я, впровадження нових методів фінансування, розбудову системи громадського здоров'я, організаційного потенціалу, інформаційно-комунікаційний супровід реформування системи охорони здоров'я.

Реалізація проєкту розрахована на п'ять років, фінансування складає 245,5 млн дол. США, з яких 214,7 млн дол. США є позикою Світового банку.

Проєкти модернізації системи соціальної підтримки населення України передбачають реалізацію 300 000 тис. дол. США, модернізації державних фінансів — 50 000 тис. дол. США [16].

З того часу, як Україна стала членом МБРР в 1992 р., за 26 років співпраці зі Світовим банком загальна сума зобов'язань сягнула майже 12 млрд дол. США, це майже 70 проєктів і програм.

Портфель проєктів МБРР в Україні складається з восьми інвестиційних проєктів, загальна сума досягає близько 2,5 млрд дол. США та однієї гарантії на 500 млн дол. США. МБРР у 2015 р. випустив облігації у 21 валюті, це дало змогу залучити суму, еквівалентну 57,7 млрд дол. США. У 2016 р. кількість валют залишалась незмінною, сума становила 63 млрд дол. США. У 2017 р. були випущені облігації у 24 валютах (56 млрд дол. США). МБРР у 2018 р. випустив облігації у 27 національних валютах (36 млрд дол. США). В жовтні 2017 року було випущено в гривнях дисконтні облігації, сума склала 200 млн грн, термін обігу склав два роки (до 4 жовтня 2019 року) [17].

Такий високий рейтинг кредитоспроможності був досягнутий МБРР за рахунок впливу фінансової підтримки членів-акціонерів; дотримання відповідного рівня ліквідності активів; реалізації раціональної кредитної системи; співробітництва з тими державами, які дотримуються виконання своїх зобов'язань; постійного вдосконалення власного бізнесу, націленого на спрощення і зменшення терміну проведення процедур; визначення внутрішніх резервів, які здатні поліпшити фінансове становище, та вдосконалення механізмів взаємодії з партнерами.

Висновки

Отже, співробітництво України з МБРР надає можливість створити умови для економічного розвитку країни шляхом залучення фінансових ресурсів, реформування національної економіки, реалізації системних та інвестиційних

проектів. Фінансові ресурси, які надаються Світовим банком, доцільно використовувати лише за призначенням, та раціонально розподіляти кошти.

Головне завдання проектів полягає в покращенні стану економічного розвитку нашої країни, а основною проблемою в реалізації цих проектів є система управління. Для ефективності виконання проекту необхідно підвищити відповідальність державних органів. Якщо проект стосується якогось конкретного сектору, потрібно призначити державного виконавця, який буде нести відповідальність за впровадження. Необхідність дотримання виконання всіх умов проекту, раціональне розподілення коштів за чітким планом забезпечить покращення фінансового стану та життя громадян.

Поглиблення співробітництва зі Світовим банком відбилась у цільових позиках на системні та інвестиційні проекти для здійснення економічної реформи в Україні, насамперед на реформування державного сектору, структурні та інституційні зміни галузей і секторів економіки.

Отже, розширення та зміцнення співробітництва між Україною та міжнародними фінансовими установами — важливий компонент зовнішньоекономічної діяльності країни. Пріоритетним для всіх гілок влади має бути підвищення ефективності такого співробітництва, оскільки саме воно сприяє посиленню макроекономічної стабільності, реалізації структурної перебудови та ринкової трансформації перехідних економік.

Література

1. Мельник А. О. Вплив інтернаціоналізації банківської системи на соціально-економічний розвиток в Україні: *Культура народів Причорномор'я*. 2007. С. 237—240.
2. Мельник А. О. Глобалізаційні виміри світової економіки: *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2012. С. 104—109.
3. Циганкова Т. М., Гордєєва Т. Ф. Міжнародні організації: навч. посібник. Вид. 2-ге, перероб. і доп. КНЕУ, 2001. 340с.
4. Ковбасюк Ю. В. Європейський банк реконструкції та розвитку: аспекти діяльності: монографія. Київ: УАДУ, 2002. 268 с.
5. Колосова В. П., Іванова В. П. Співробітництво України з міжнародними фінансовими організаціями: сучасний стан та перспективи розширення. *Фінанси України*. 2014, № 11. С. 33—47.
6. Глобальний конкурентний простір: монографія. Білорус О. Г., Пахомов Ю. М., Гузенко І. Ю. та ін. Львів, 2007. С. 646—677.
7. Myant M., Drahokoupil J. Transition Indicators of the European Bank for Reconstruction and Development: A Doubtful Guide to Economic Success. *Competition & Change*. 2012. Vol. 16. Issue 1. P. 69—75.
8. Zverev A. Afterword: EBRD Support for CIS Model Laws. *Review of Central & East European Law*. 2011. Vol. 36. P. 501—504.
9. Lessambo F. I. International Financial Institutions and Their Challenges: A Global Guide for Future Methods Chennai. India, 2015. 261 p.
10. Simen A. EBRD Equity Investment. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series V: Economic Sciences*. 2012. Vol. 5. Issue 1. P. 163—168.
11. Дроздовська О. М. Співпраця України із Світовим банком. 2017. 104 с. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/handle/316497/23135> (дата звернення: 15.05.2020).
12. Офіційний сайт Світового банку. URL: <http://www.worldbank.org> (дата звернення: 16.05.2020).

13. Аналіз реалізації інвестиційних проєктів міжнародних фінансових інституцій в Україні виявив проблеми їх впровадження / Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/schodo-vdoskonalennya-roboti-ukraini-z-mvf-mbrt-analitichna-zapiska> (дата звернення: 17.05.2020).

14. Гаврилко Т. О. Гавриленко А. В. Міжнародний банк реконструкції та розвитку: особливості діяльності в умовах світових глобалізаційних процесів. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/23_1_2019ua/11.pdf (дата звернення: 17.05.2020).

15. Інвестиційні проєкти / Офіційний державний портал із реєстром проєктів соціального і економічного розвитку України. URL: <http://proifi.gov.ua/?p=index> (дата звернення: 16.05.2020).

16. Андросова Т. В., Кот О. В., Козуб В. О. Міжнародні організації: навчальний посібник. вид. 2-ге, перероб. та доп. ХДУХТ, 2018. 235 с.

17. Міжнародний банк реконструкції та розвитку (МБРР) / Офіційний сайт Світового банку. URL: <http://web.worldbank.org> (дата звернення: 16.05.2020).

THE POSITION OF STATE-OWNED BANKS IN THE BANKING SYSTEM OF UKRAINE: THE ASPECT OF THE RATE OF RETURN

S. Boiko, Ya. Diachuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Banking system
State-owned banks
Banks with state
participation
Return on assets
Return on equity*

Article history:

Received 10.04.2020
Received in revised form
24.04.2020
Accepted 18.05.2020

Corresponding author:

S. Boiko

E-mail:

svitlanaboyko@ukr.net

ABSTRACT

Use of public finance in the banking sector requires increased attention from researchers. Because such discussion questions are actualized: diversion of part of the state budget to the formation of capital for banks; inefficient use of public finances poses a potential threat to macrofinancial stability; distortion of competition at the market of banking services through the creation of special banking conditions for state-owned banks, etc.

The article explores the position of state-owned banks in the banking system of Ukraine, which is characterized by a high share of state-owned banks in assets (60.39%) and liabilities (56.69%). It produces a high level of macrofinancial risks.

In 2009—2019, the state invariably owned the capital of two commercial banks (Oschadbank, Ukreximbank), and in some years owned parts of the capital of other commercial banks (Kyiv, Ukgasbank, Rodovid Bank, Privatbank, Ukrainian Bank for Reconstruction and Development, State Land Bank, Settlement Center). State-owned banks were mainly unprofitable banks, and there is no direct and close link with macroeconomic indicators.

The level of ROA and ROE was determined based on empirical analysis, which in 2009—2011 and 2014—2017 was at a lower level than in other commercial banks. It indicates the inability of the state to ensure effective and efficient banking management. Privatbank has the highest level of ROE in recent years; Ukreximbank and Ukgasbank have a sufficient level of ROE, but less than the same indicator for commercial banks with private capital; Settlement Center has low level of ROE; Oschadbank has the lowest level of ROE.

ПОЗИЦІЯ ДЕРЖАВНИХ БАНКІВ У БАНКІВСЬКІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ: АСПЕКТ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ

С. В. Бойко, Я. С. Дячук

Національний університет харчових технологій

Використання публічних фінансів у банківському секторі вимагає посиленої уваги з боку дослідників, оскільки одночасно актуалізуються такі дискусійні питання: відволікання частини коштів державного бюджету на формування статутного капіталу банків та їх докапіталізацію; неефективне використання публічних фінансів у банківському секторі містить потенційну загрозу макрофінансовій стабільності; порушення конкуренції на ринку банківських послуг через створення для державних банків спеціальних умов банківництва тощо.

У статті проведено дослідження позиції державних банків у банківській системі України, яка характеризується високою часткою державних банків в активах (60,39%) та зобов'язаннях (56,69%) банківської системи, що продукує високий рівень ризиків. У досліджуваному періоді (2009—2019 рр.) держава незмінно володіла статутним капіталом двох комерційних банків АТ «Ощадбанк», АТ «Укрексімбанк», а також в окремі роки володіла частинами статутного капіталу інших комерційних банків (КБ «Київ», КБ «Укргазбанк», КБ «Родовід Банк», КБ «Приватбанк», КБ «Український банк реконструкції та розвитку», АТ «Державний земельний банк», АТ «Розрахунковий центр»).

На основі емпіричного аналізу визначено рівень рентабельності активів та власного капіталу державних банків, який у 2009—2011 рр. та 2014—2017 рр. перебував на нижчому рівні, ніж в інших комерційних банках, що свідчить про неможливість держави забезпечити ефективний та результативний банківський менеджмент. Найвищий рівень рентабельності власного капіталу у 2019 р. у КБ «Приватбанк», достатній рівень, але менший від аналогічного показника комерційних банків з приватним капіталом, у АТ «Укрексімбанк» та КБ «Укргазбанк», низький рівень — АТ «Розрахунковий центр», найнижчий рівень — АТ «Ощадбанк». Ретроспективний аналіз вказує на належність банків до умовно сформованих груп протягом останніх років.

Ключові слова: банківська система, державні банки, банки з державною участю, рентабельність активів, рентабельність власного капіталу.

Постановка проблеми. Банківська система станом на початок 2020 р. налічувала 75 комерційних банків [1], які суттєво відрізняються за різними ознаками, проте працюють в єдиному правовому полі та єдиному конкурентному середовищі. З-поміж таких комерційних банків функціонують державні банки (банк, 100% статутного капіталу якого належить державі [2]) та банки з державною участю у капіталі (банки, в яких держава прямо чи опосередковано володіє часткою понад 75% статутного капіталу банку [3]), частка яких у загальний активи банківської системи становила 60,39%, чистих активах — 55,23%, зобов'язаннях — 56,69%, власному капіталі — 45,87% [4]. Використання публічних фінансів у банківському секторі вимагає посиленої уваги з боку дослідників, оскільки одночасно актуалізуються такі дискусійні питання: відволікання частини

коштів державного бюджету на формування статутного капіталу банків та їх докапіталізацію, які могли бути витрачені на фінансування інших потреб соціально-економічного розвитку держави; неефективність використання публічних фінансів у банківському секторі містить потенційну загрозу макрофінансовій стабільності як за напрямом банківського сектору, так і за напрямом публічних фінансів; порушення конкуренції на ринку банківських послуг через створення для державних банків спеціальних умов банківництва тощо.

Отже, у сучасних умовах високої частки державних банків в активах, зобов'язаннях та капіталі банківської системи України актуальності набуває оцінка рентабельності державних банків у банківській системі, оскільки емпіричної оцінки потребує ефективність використання публічних фінансів державними банками в контексті загального рівня рентабельності банківської системи України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у дослідження особливостей функціонування державних банків зробили вітчизняні вчені: Г. Бортніков, О. Деревко, Л. Ковриженко, В. Костогриз, Л. Лондар, О. Любіч, В. Огородник, Г. Панасенко, Н. Погореленко, Л. Примостка, О. Тригуб, М. Хуторна та ін. [5—14]. Вчені переважно досліджували окремі аспекти функціонування державних банків: основні етапи становлення та розвитку системи державних банків — О. Тригуб [14] та В. Огородник [11], роль державних банків у забезпеченні фінансової стабільності банківської системи України — Н. Погореленко [12], В. Костогриз та М. Хуторна [8], аналіз бізнес-моделі державних банків — Г. Бортніков [5, 10], О. Любіч та Г. Панасенко [10], вплив капіталізації державних банків на боргове навантаження держави — О. Деревко [6] та Л. Лондар [9], іноземний досвід функціонування державних банків — Л. Ковриженко [7]. Аналіз публікацій свідчить про низку вузьких досліджень у напрямку визначення позицій державних банків у банківській системі України, що потребує детального емпіричного аналізу.

Метою статті є проведення ретроспективної оцінки рівня рентабельності державних банків України у контексті дослідження загального рівня рентабельності банківської системи.

Викладення основних результатів дослідження. Упродовж 2009—2019 рр. державна політика щодо присутності держави на ринку банківських послуг та у формування капіталу банківської системи України зазнавала суттєвих змін під дією фінансових, політичних, соціальних та інших чинників. Узагальнюючи провідні вектори державної політики щодо присутності держави у банківській системі, можна виділити такі:

- у 2009 р. рекапіталізовано КБ «Київ», КБ «Укргазбанк», КБ «Родовід Банк» з метою недопущення їхнього банкрутства та посилення кризових явищ у банківській системі в контексті світової фінансової кризи;

- у 2013 р. АТ «Розрахунковий центр» розпочав свою діяльність як банківська установа з виключною компетенцією проведення грошових розрахунків за правочинами щодо цінних паперів та інших фінансових інструментів, вчинених на фондовій біржі та поза фондовою біржею, якщо проводяться розрахунки за принципом «поставка цінних паперів проти оплати»;

- у 2015 р. виведено КБ «Київ» шляхом придбання його активів та зобов'язань з іншим банком з державною участю — КБ «Укргазбанк»;

- у 2016 р. націоналізовано КБ «Приватбанк» з огляду на необхідність забезпечення стабільності фінансової системи і захисту прав та охоронюваних законом інтересів вкладників [15], у цьому році за рішенням Національного банку України виведено з ринку КБ «Родовід Банк», «Державний земельний банк» та визнано їх неплатоспроможними;

- у 2017 р. реалізовано 99,9% акцій КБ «Український банк реконструкції та розвитку», що належали державі за ціною нижчою від вартості активів банку.

Отже, у досліджуваному періоді держава незмінно володіла статутним капіталом двох комерційних банків — АТ «Ощадбанк», АТ «Укресімбанк», а також в окремі роки володіла частинами статутного капіталу інших комерційних банків — КБ «Київ», КБ «Укргазбанк», КБ «Родовід Банк», КБ «Приватбанк», КБ «Український банк реконструкції та розвитку», АТ «Державний земельний банк», АТ «Розрахунковий центр».

Рівень рентабельності банку визначається сукупністю відносних показників, проте у власному дослідженні обмежимося основними показниками: ROA (Return on Assets), ROE (Return on Equity). Розрахунок ROA, ROE базуються на порівнянні чистого прибутку та середньої вартості активів та власного капіталу відповідно.

Чистий фінансовий результат державних банків і банків з державною участю в Україні (табл. 1) вказує на чистий збиток, одержаний банками у 2009—2011 рр., а також у 2014—2017 рр. Позитивний чистий фінансовий результат був одержаний державними банками у 2012—2013 рр., а також у 2018—2019 рр.

Таблиця 1. Чистий фінансовий результат державних банків і банків з державною участю в Україні, млн грн

Банк	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ощадбанк	693	461	531	566	679	-8 564	-12 273	464	559	162	277
Укресімбанк	21	51	88	160	199	-9 806	-14 132	-957	784	852	1 002
Банк Київ	-1 785 ¹	-221	17	4	4	-747					
Укргазбанк	-4 339 ¹	10	-3 614	1 100	1 002	-2 801	260	289	628	769	1 299
Родовід Банк	-2 705 ¹	-4 264	-1 399	-11	-70	-267	79 ¹	—	—	—	—
Український банк реконструкції та розвитку	-30	2	0	-7	0	-11	1	-3	-7 ¹	—	—
Державний земельний банк	—	—	—	—	-3	2	9	1 ¹	—	—	—
Розрахунковий центр	—	—	—	—	1	5	-29	2	6	36	15
Приватбанк	—	—	—	—	—	—	—	—	-23 914	12 798	32 609
Всього	-8 145	-3 961	-4 377	1 813	1 811	-22 189	-26 086	-203	-21 945	14 618	35 202

Примітка: ¹ — за період фактичного володіння державою пакетом акцій банку
Джерело: складено авторами за даними Національного банку України [4].

Доцільно також враховувати макроекономічні тенденції, рівень економічної активності загалом у державі та ринку банківських послуг та їхній вплив на чистий фінансовий результат державних банків і банків з державною участю в

Україні. Результати проведеного кореляційного аналізу (рис. 1) підтверджують наявність суперечливих тенденцій формування чистого фінансового результату державних банків і банків з державною участю: відсутність тісного зв'язку з ВВП ($r = 0,5329$), що свідчить про відсутність впливу макроекономічної ситуації на кінцеві показники діяльності банків; відсутність тісного зв'язку з чистим фінансовим результатом банківської системи загалом ($r = 0,4870$) та комерційних банків з приватним та іноземним капіталом ($r = 0,2438$), що свідчить про нижчий рівень ефективності у державних банках, порівняно з іншими комерційними банками.

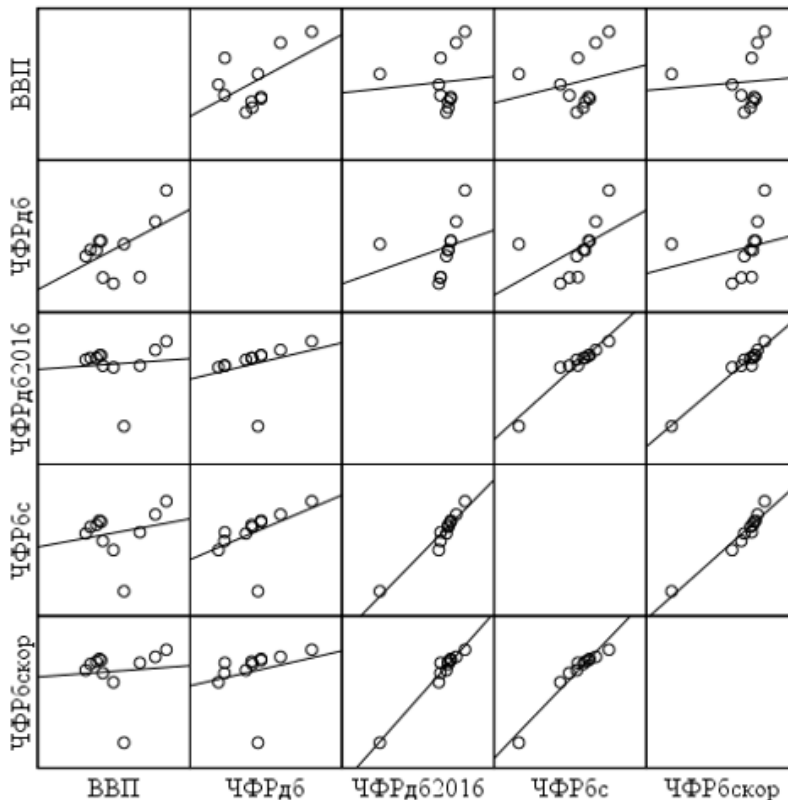


Рис. 1. Кореляційна матриця взаємозв'язку чистого фінансового результату державних банків і банків з державною участю з макроекономічними показниками, побудовано за даними Національного банку України [4], Державної служби статистики України [16]: ВВП — валовий внутрішній продукт; ЧФРдб — чистий фінансовий результат державних банків і банків з державною участю; ЧФРдб2016 — чистий фінансовий результат державних банків і банків з державною участю, включаючи КБ «Приватбанк» у 2016 р.; ЧФРбс — чистий фінансовий результат, банківської системи; ЧФРбскор — чистий фінансовий результат за мінусом чистого фінансового результату державних банків і банків з державною участю

За динамікою чистого фінансового результату державних банків і банків з державною участю в Україні за останні десять років варто відмітити переважну збитковість діяльності банків, відсутність прямого та щільного зв'язку

з макроекономічними показниками, а також показниками діяльності банківської системи України.

Рівень рентабельності державних банків і банків з державною участю в Україні наведений у табл. 2 та табл. 3 з урахуванням таких методологічних умов: середня вартість активів і власного капіталу визначається на основі квартальних показників за формулою середньої арифметичної хронологічної.

Розрахований ROA державних банків і банків з державною участю у досліджуваному періоді свідчить про коливання від збитковості на рівні 7,72% до прибутковості 4,66% з такими щорічними показниками: 2009 р. — (-5,71)%, 2010 р. — (-2,56)%, 2011 р. — (-2,46)%, 2012 р. — 0,93%, 2013 р. — 0,82%, 2014 р. — (-8,22)%, 2015 р. — (-7,72)%, 2016 р. — (-0,05)%, 2017 р. — (-2,11)%, 2018 р. — 2,01%, 2019 р. — 4,66% (рис. 2).

Таблиця 2. ROA державних банків і банків з державною участю в Україні, %

Банк	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ощадбанк	1,21	0,78	0,73	0,67	0,72	-7,37	-8,01	0,24	0,25	0,08	0,13
Укрексімбанк	0,06	0,11	0,17	0,31	0,32	-12,96	-14,41	-0,92	0,70	0,80	0,99
Банк Київ	-40,70 ¹	-7,86	0,57	0,17	0,19	-37,28	—	—	—	—	—
Укргазбанк	-34,67 ¹	0,07	-22,14	5,41	4,52	-12,50	0,85	0,54	0,93	0,95	1,33
Родовід Банк	-20,77 ¹	-38,34	-14,77	-0,12	-0,79	-3,09	0,93 ¹	—	—	—	—
Український банк реконструкції та розвитку	-24,96	1,36	0,08	-4,52	0,08	-9,84	0,47	-2,62	-4,55 ¹	—	—
Державний земельний банк	—	—	—	—	-1,98	1,66	6,78	1,03 ¹	—	—	—
Розрахунковий центр	—	—	—	—	0,30	0,53	-7,07	0,91	1,64	7,85	4,31
Приватбанк	—	—	—	—	—	—	—	—	-9,76	4,75	11,29

Примітка: ¹ — за період фактичного володіння державою пакетом акцій банку.

Джерело: складено авторами за даними Національного банку України [4] та власними розрахунками.

Сукупність державних банків і банків з державною участю була неоднорідною за рівнем ROA, що вказує на відсутність єдиної державної стратегії щодо особливостей діяльності банків та забезпечення ефективності їхньої діяльності. Варто відмітити критичний стан рентабельності активів КБ «Київ», КБ «Укргазбанк» та КБ «Родовід Банк», що свідчить про поступове подолання наслідків неефективного управління банківською діяльністю у роках, що передували націоналізації. АТ «Укрексімбанк» та АТ «Ощадбанк» були збитковим у 2014—2016 рр. та 2014—2015 рр. відповідно, проте в останні досліджувані роки прибутковість активів була забезпечена на рівні, що не перевищував одного відсотка.

За динамікою ROA державних банків і банків з державною участю в Україні варто відмітити нижчі показники від інших комерційних банків у 2009—2011 р. та 2014—2017 рр. (рис. 2), що вказує на нижчий рівень ефективності

використання державними банками та банками з державною участю активів, якщо порівняти з іншими комерційними банками.

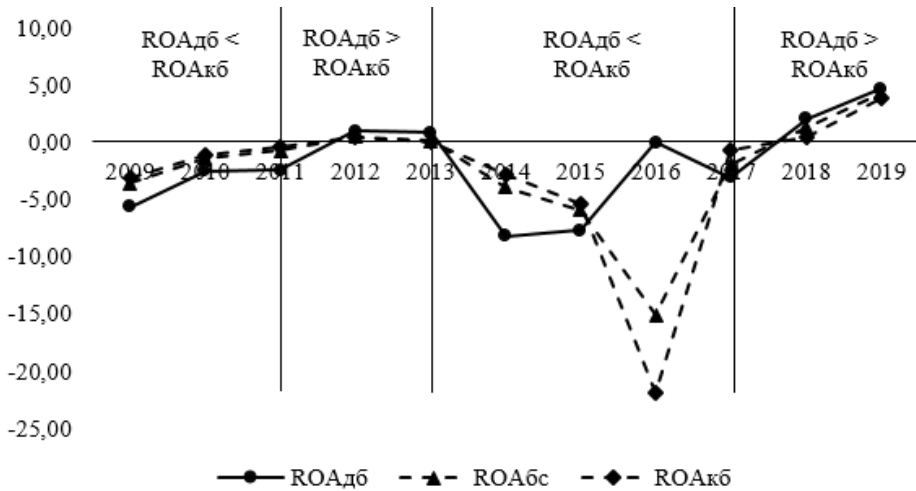


Рис. 2. ROA банківської системи України у 2009—2019 рр., %, побудовано за власними розрахунками: ROAdб — ROA державних банків і банків з державною участю; ROAbс — ROA банківської системи; ROAkб — ROA комерційних банків, за винятком державних банків і банків з державною участю

Розрахований ROE державних банків і банків з державною участю у досліджуваному періоді свідчить про коливання від збитковості на рівні 82,99% до прибутковості 44,88% з такими щорічними показниками: 2009 р. — (-25,62)%, 2010 р. — (-10,40)%, 2011 р. — (-10,50)%, 2012 р. — 4,19%, 2013 р. — 3,95%, 2014 р. — (-49,22)%, 2015 р. — (-82,99)%, 2016 р. — (-0,82)%, 2017 р. — (-31,38)%, 2018 р. — 24,62%, 2019 р. — 44,88% (рис. 3).

Таблиця 3. ROE державних банків і банків з державною участю в Україні, %

Банк	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ощадбанк	4,20	2,78	3,05	3,16	3,64	-41,37	-72,59	3,15	2,08	0,93	1,49
Укрексімбанк	0,36	0,44	0,75	1,35	1,66	-86,51	-283,90	-29,36	8,34	15,01	17,31
Банк Київ	-95,34 ¹	-31,67	2,22	0,56	0,54	-109,23	—	—	—	—	—
Укргазбанк	-302,65 ¹	0,53	-153,26	35,47	22,78	-70,72	6,93	6,25	12,01	13,83	19,95
Родовід Банк	-91,28 ¹	-286,74	-40,37	-0,29	-1,92	-7,92	2,43 ¹	—	—	—	—
Український банк реконструкції та розвитку	-46,64	2,59	0,14	-7,84	0,12	-14,44	0,91	-5,08	-11,59 ¹	—	—
Державний земельний банк	—	—	—	—	-2,49	1,81	7,38	1,12 ¹	—	—	—
Розрахунковий центр	—	—	—	—	0,56	2,76	-14,37	1,37	3,05	15,26	5,72
Приватбанк	—	—	—	—	—	—	—	—	-103,13	46,17	74,23

Примітка: ¹ — за період фактичного володіння державою пакетом акцій банку.

Джерело: складено авторами за даними Національного банку України [4] та власними розрахунками.

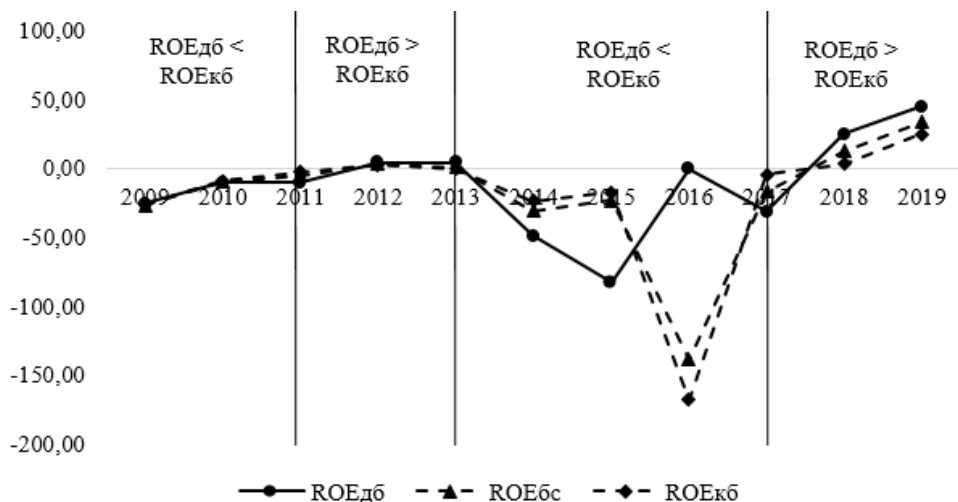


Рис. 3. ROE банківської системи України у 2009—2019 рр., %, побудовано за власними розрахунками: ROEдб — ROE державних банків і банків з державною участю; ROЕбс — ROE банківської системи; ROЕкб — ROE комерційних банків, за винятком державних банків і банків з державною участю

ROE державних банків і банків з державною участю більш інформативний показник для оцінки ефективності використання публічних фінансів. Так, найвищий рівень рентабельності у 2019 р. ідентифіковано у КБ «Приватбанк» (74,23%), достатній, але менший від аналогічного показника за комерційними банками з приватним капіталом, у АТ «Укрексімбанк» (17,31%) та КБ «Укр-газбанк» (19,95%), низький рівень — АТ «Розрахунковий центр» (5,72%), найнижчий рівень — АТ «Ощадбанк» (1,49%). Ретроспективний аналіз вказує на належність банків до умовно сформованих груп протягом останніх років.

За допомогою проведеного кореляційного аналізу варто відмітити наявність прямого та сильного зв'язку між розміром власного капіталу державних банків та ROE ($r = 0,8564$) лише у 2019 р., чому передував прямий і помітний зв'язок ($r = 0,5811$) у 2018 р. та слабкий зв'язок у довгостроковому періоді. Отже, доведено відсутність зв'язку між розміром власного капіталу та його рентабельністю у довгостроковому періоді, що актуалізує оцінку ефективності управління пасивами і активами державних банків, насамперед кредитним та інвестиційним портфелями. До потенційних факторів, що мають вплив на рівень ROE державних банків і банків з державною участю, можна віднести розмір статутного капіталу та частота його збільшення за рахунок коштів державного бюджету, розмір нерозподіленого прибутку чи непокритого збитку, а також інших джерел власного капіталу.

Висновки

Підсумовуючи проведене дослідження позиції державних банків у банківській системі України, зазначимо, що наявність високої частки державних банків в активах, зобов'язаннях та капіталі банківської системи слід вважати дискусійним явищем, що продукує високий рівень ризиків. На основі емпіричного аналізу визначено рівень рентабельності активів та власного капіталу державних банків, який у 2009—2011 рр. та 2014—2017 рр. перебував на

нижчому рівні, ніж в інших комерційних банках, що свідчить про неможливість держави забезпечити ефективний і результативний банківський менеджмент.

Література

1. Основні показники діяльності банків України / Офіційний сайт Національного банку України. URL: <https://bank.gov.ua/ua/statistic/supervision-statist/data-supervision#1> (дата звернення: 25.04.2020).
2. Про банки і банківську діяльність: Закон України від 07.12.2000 № 2121-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2121-14> (дата звернення: 25.04.2020).
3. Про розподіл банків на групи на 2018 рік: Лист Національного банку України від 03.01.2018 № 20-0009/369. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/LB18005.html (дата звернення: 25.04.2020).
4. Наглядова статистика / Офіційний сайт Національного банку України. URL: <https://bank.gov.ua/ua/statistic/supervision-statist> (дата звернення: 25.04.2020).
5. Бортніков Г. П. Порівняльний аналіз бізнес-моделей державних банків в Україні. *Фінанси України*. 2019. № 1. С. 80—101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fu_2019_1_9 (дата звернення: 25.04.2020).
6. Деревко О. С. Фінансова підтримка державних банків в Україні та її вплив на боргову політику. *Економічний вісник університету*. 2016. Вип. 31(1). С. 208—219. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvu_2016_31%281%29_33 (дата звернення: 25.04.2020).
7. Ковриженко Л. О. Державні банки: міжнародний досвід та перспективи для України. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2016. № 2(1). С. 126-128. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_ekon_2016_2%281%29_25 (дата звернення: 25.04.2020).
8. Костоґриз В. Г., Хуторна М. Е. Державні банки у системі забезпечення фінансової стабільності банківського сектору України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка*. 2018. Вип. 1. С. 335-341. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuiues_2018_1_56 (дата звернення: 25.04.2020).
9. Лондар Л. П. Докапіталізація банків як чинник зростання державного боргу України. *Стратегічні пріоритети*. 2017. № 4. С. 74—81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sra_2017_4_10 (дата звернення: 25.04.2020).
10. Любіч О. О., Бортніков Г. П., Панасенко Г. О. Аналіз бізнес-моделі державних банків в Україні. *Фінанси України*. 2016. № 10. С. 7—38. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fu_2016_10_3 (дата звернення: 25.04.2020).
11. Огородник В. В. Етапи становлення і розвитку банківської системи України в контексті державної участі в капіталі. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Економіка*. 2017. Т. 22, Вип. 8. С. 121-125. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_ekon_2017_22_8_27 (дата звернення: 25.04.2020).
12. Погореленко Н. П. Перегляд функціоналу державних банків в системі забезпечення фінансової стабільності банківської системи України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Економічна*. 2018. Вип. 95. С. 30—39. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhE_2018_95_6 (дата звернення: 25.04.2020).
13. Примостка Л. О. Державний капітал у банківській системі України. *Фінанси, облік і аудит*. 2014. Вип. 2. С. 107—119. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Foa_2014_2_10 (дата звернення: 25.04.2020).
14. Тригуб О. Еволюція системи державних банків в Україні. *Теоретичні та прикладні питання економіки*. 2015. Вип. 1. С. 404—415. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Trpe_2015_1_42 (дата звернення: 25.04.2020).
15. Деякі питання забезпечення стабільності фінансової системи: Постанова Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2016 № 961. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/961-2016-%D0%BF> (дата звернення: 25.04.2020).
16. Національні рахунки / Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 25.04.2020).

DOMESTIC MARKET OF CONFECTIONERY PRODUCTS IN THE ASPECT OF GENERAL WORLD DEVELOPMENT TRENDS

L. Strashynska, A. Nikonenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Confectionery market
Internal competition
Consumer preferences
Traditional markets
Reformatting of the
industry
Customs tariffs
A new culture of
consumption
The trend of healthy
eating*

Article history:

Received 13.04.2020
Received in revised form
24.04.2020
Accepted 15.05.2020

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The article analyzes the domestic market of confectionery products. It is emphasized that companies are experiencing strong internal competition that is associated with a decline in exports. The main groups of enterprises that produce confectionery are identified and their specificities are characterized.

It is noted that in today's conditions confectioners compete for the customer in proven ways — reducing the cost and reducing the production of unprofitable products. It is emphasized that domestic production is the main source of market supply formation at present. Possibilities and ratings of leading market operators are presented.

The dynamics of production and export of confectionery products during 2011—2018, as well as their production and export in the range of assortment groups are analyzed. It is emphasized that Ukrainian exporters do not fully exploit the potential of foreign trade with EU countries, since the European confectionery market is quite saturated and exporters are faced with the problem of access to Ukrainian products on the shelf of European trading networks.

Further analysis of the trends of the confectionery market was carried out on the basis of consumer preferences research. It has been determined that the structure of demand for confectionery products is undergoing dramatic changes due to the trend of healthy eating. It is noted that the development of the global nutraceutical market is a steady trend, which generates new consumer benefits, which in turn contribute to the formation of a new culture of food consumption. So functional sweets have pretty good prospects.

It is emphasized that in order to realize their opportunities to be successful, competitive in today's market, for rapid and flexible response to consumer changes, owners of confectionery brand need complex technological solutions. Therefore, manufacturers need to place clear emphasis on those moments of the technological process that will make the finished confectionery product to demanded end consumers, which in turn will increase their loyalty to the brand in the conditions of formation of a new culture of consumption of confectionery products.

ВІТЧИЗНЯНИЙ РИНОК КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ В АСПЕКТІ ЗАГАЛЬНОСВІТОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ

Л. В. Страшинська, А. В. Никоненко

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано вітчизняний ринок кондитерських виробів. Наголошено, що серед компаній спостерігається потужна внутрішня конкуренція, яка пов'язана із скороченням експорту. Визначено основні групи підприємств, які виробляють кондитерські вироби, та охарактеризовано їхню специфіку.

Зауважено, що в сучасних умовах кондитери змагаються за клієнта перевіреними шляхами — зниженням вартості і скороченням виробництва нерентабельної продукції. Наголошено, що головним джерелом формування пропозиції на ринку на теперішній час залишається вітчизняне виробництво. Визначено можливість і рейтинги провідних операторів ринку.

Проаналізовано динаміку виробництва й експорту кондитерських виробів протягом 2011—2018 рр., а також їх виробництво й експорт в розрізі асортиментних груп. Наголошено, що українські експортери не повною мірою використовують потенціал зовнішньої торгівлі з країнами ЄС, оскільки кондитерський ринок Європи є досить насиченим і експортери стикаються з проблемою доступу української продукції на полиці європейських торговельних мереж.

Подальший аналіз напрямків розвитку кондитерського ринку було проведено на основі досліджень споживчих уподобань. Визначено, що в структурі попиту на кондитерські вироби відбуваються кардинальні зміни під дією тренду здорового харчування. Зазначено, що розвиток світового ринку нутрицевтиків становить стійкий тренд, що формує нові споживчі переваги, які, у свою чергу, сприяють формуванню нової культури споживання харчових продуктів. Отже, у функціональних солодоців є досить гарні перспективи.

Для реалізації своїх можливостей бути успішними, конкурентними на сучасному ринку, швидкого і гнучкого реагування на споживчі зміни власникам брендів кондитерського ринку необхідні комплексні технологічні рішення. Отже, виробникам необхідно розставити чіткі акценти на тих моментах технологічного процесу, які зроблять готовий кондитерський продукт затребуваним кінцевими споживачами, що посилить їхню лояльність до бренду в умовах формування нової культури споживання кондитерської продукції.

Ключові слова: ринок кондитерських виробів, внутрішня конкуренція, споживчі уподобання, традиційні ринки збуту, переформатування галузі, митні тарифи, нова культура споживання, тренд здорового харчування.

Formulation of the problem. The confectionery industry is one of the most developed and modernized branches of the food industry of Ukraine. According to the Ukrkondprom Association, it provides 1.5% of the country's GDP and has significant export potential. However, at present, the industry is developing under conditions of fierce internal and external competition.

Baking and pastry are delicacies that are not a daily part of the average consumer basket. Buying goodies, consumers are guided by completely different considerations than when buying basic foods. In the first place, consumers of baking and pastry seek to enjoy while consuming, but the satisfaction is provided by a combination of sensations coming from the senses. Therefore, it is equally important not only how tasty the product is, but also the way it looks, its aroma, its texture. At least one component from this list will have a negative effect on consumer mood, which in turn will influence the purchase decision. The more positive sensations a consumer receives from a product, the steadier his loyalty to the brand is, and the variety of flavors, aromas, color compositions, textures, fillers allows the confectioners to create culinary masterpieces.

Analysis of recent research and publications. Such leading scientists have devoted their works to the problems of confectionary industry development as O. Butnik-Seversky, A. Zainchkovsky, A. Dorokhovych, V. Drobot, V. Kovbasa, V. Obolkina, N. Solomenyuk, M. Sychevsky, V. Chebotarev, V. Yurchak and many others, however, the urgent needs of the industry require the determination of new approaches both to research the development of the confectionery market as a whole, and the peculiarities of the functioning of enterprises in the face of changing consumer preferences.

The purpose of the article is to analyze the confectionery market as a whole, to determine the global trends of its development and consumer priorities, as well as to study current trends in the domestic confectionery market.

Outline of the main results of the study. Statistics from the KOLORO branding agency show that a resident of Western or Central Europe consumes about 6 kg of chocolate a year. Analysis of the domestic market for confectionery shows that Ukrainians consume chocolate and other sweets during the year, about 1.3—1.4 kg. However, these figures indicate not the growing popularity of sweets in Ukraine, but the difficult economic situation.

Among the companies there is strong internal competition. Manufacturers of confectionery in Ukraine are actively fighting for the local market. This is due to the fact that exports have fallen sharply since 2013.

Today, baking and the range of confectionery products are produced by different technologies, different cycles, with different shelf life. In general, all such enterprises can be divided into two groups. The first is the industrial production of the products under consideration, which is industrially packaged and has an extended shelf life. Such products are sold through organized shops, branded stores. The second group consists of the production of the so-called fresh baking, which is most often packed at the point of sale or consumed there. This group consists of small shops of HoReCa, fast food, own production of retail, small bakeries, catering establishments and catering.

In the current conditions, confectioners compete for the customer in proven ways — reducing the cost and reducing the production of unprofitable products.

In addition, during 2017—2018, there was a significant increase in imports of confectionery into Ukraine, in particular in 2017 — by 36% more than in 2016. During 2018, imports increased by 27% compared to the previous year. Imports to Ukraine of sweets in 2018 were mainly from European countries, including Poland, Germany, Bulgaria, Italy, Holland and Lithuania.

However, the main source of supply on the market today is domestic production — about 90% of the total. The production is carried out by more than 850 companies, of which 85% of Ukrainian confectionery products are produced by powerful enterprises, 9% by medium and 6% by small ones.

Among leading market operators, according to Ukrkondprom, companies such as Roshen, Biscuit Chocolate, Konti, AVK, Nestle and Mondelez Ukraine. It should be noted that in 2018 the annual rating of TOP 100 Candy Companies included three Ukrainian confectionery corporations — Roshen (25th place), Konti Group (43rd place) and AVK (64th place).

During 2018 domestic confectioners produced 379.4 thousand tons of products mainly due to AVK Confectionery Factory, Kremenchug and Vinnytsia Confectionary Factories (both of which are part of Roshen Corporation), Lviv Confectionery Factory Svitoch (part of the company Svitoch) Nestle, Mondelez Ukraine and Konti.

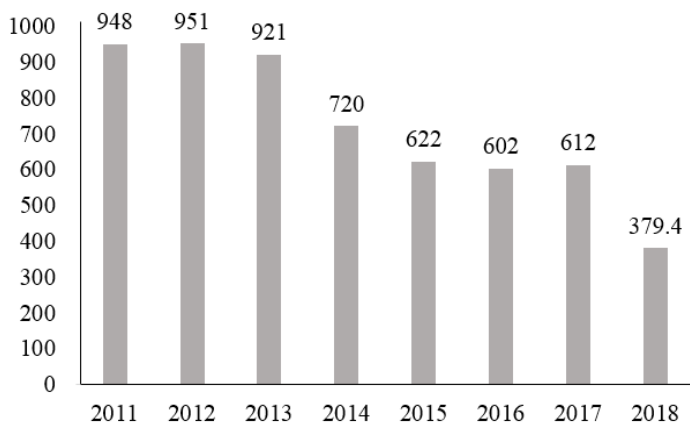


Fig. 1. Dynamics of confectionery production in Ukraine during 2011—2018, thousand tons

If we consider the production of sweets separately by groups, it should be noted that flour confectionery products during 2018 produced 129.4 thousand tons, which is 14.86% less than the level of the previous year. But at the same time a number of enterprises still increased their production, in particular, Kherson Confectionery Factory, Lviv Svitoch Confectionery Factory, Mondelez Ukraine and Kharkivka Confectionery Factory.

As for the group of sugar confectionery, their production amounted to 220.8 thousand tons, which is 16.42% less than the level of 2017. The increase in sugar production was provided by AVK Confectionery Factory, Svitoch Lviv Confectionery Factory, Mondelez Ukraine, Kremenchug, Vinnytsia and Kyiv Roshen Confectionery Factories.

The production of chocolate and similar products during 2018 increased and amounted to 29.2 thousand tons, which is 3.2% more than in 2017. The growth was provided by AVK Confectionery Factory, Svitoch Lviv Confectionery Factory, Mondelez Ukraine, Kharkivka Confectionery Factory and Roshen Vinnytsia Confectionery Factory.

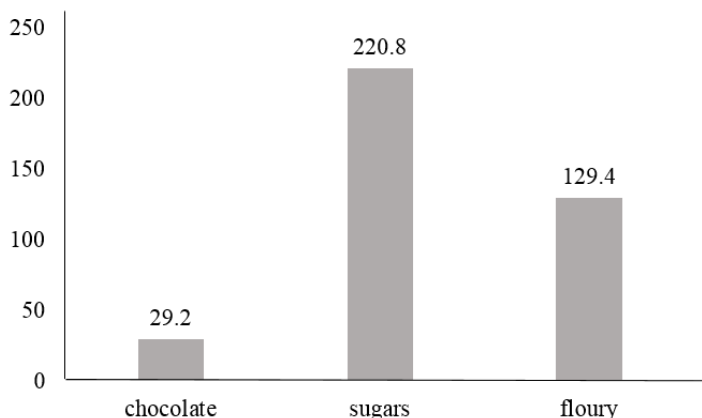


Fig. 2. Production of confectionery products in Ukraine in 2018 by section of assortment groups, thousand tons

The confectionery industry is still experiencing the effects of Russia's trade aggression, as it was the main consumer of Ukrainian confectionery (about 50% of exports), and through its territory the products were shipped to other traditional markets, in particular to Central Asian countries.

Following the ban on the import into Russia and transit of its territory of Ukrainian products, the production of sweets decreased by 33.5% (from 921 thousand tons in 2013 to 612 thousand tons in 2017) and exports — by 46% (from 407.2 thousand tons to 240 thousand tons). In addition, up to 180 thousand tons of confectionery products have been produced in the occupied territories over the past years, which is about 18% of the total production in the country. Some powerful market players have lost their businesses in the east of the country, and consequently, consumers, which has led to an internal reformation of the industry.

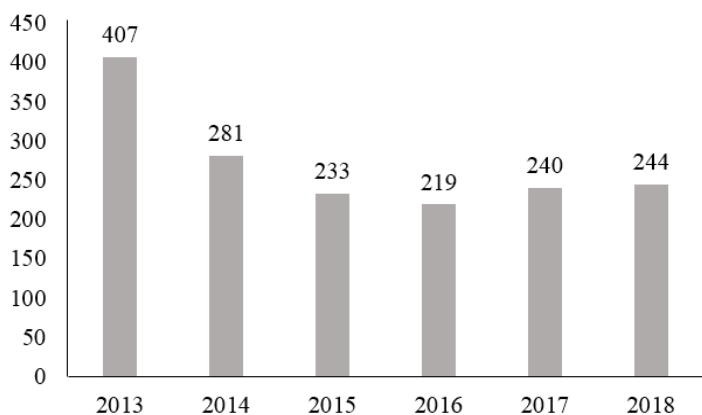


Fig. 3. Dynamics of export of confectionery products from Ukraine during 2013–2018, thousand tons

Following the events of 2014, companies began to refocus on new markets. In 2017, the EU countries and the Arab world became a priority for them. During 2018, exports of domestic confectionery products as a whole increased (up to 244.5

thousand tons) compared to 2017. In terms of assortment groups, the picture is as follows: more than 83.9 thousand tons of sugar confectionery were exported. In particular, increased exports to Kazakhstan (up to 9.203 thousand tons), Belarus (up to 8.096 thousand tons), Azerbaijan (up to 3.774 thousand tons), Poland (up to 3.734 thousand tons), Romania (up to 3.109 thousand tons) and other countries. Deliveries to EU markets (Italy, Belgium, Hungary, Spain, Serbia, Croatia, Sweden) and the US also increased.

Chocolate and other similar products were sold abroad during this period 57.5 thousand tons. At the same time, exports to the USA (4.357 thousand tons), Belarus (3.849 thousand tons), Romania (2.705 thousand tons), Hungary (2.196 thousand tons) and some other countries increased.

Exports of flour confectionery products amounted to 103.1 thousand tonnes. In particular, exports to countries such as Belarus (11.831 thousand tonnes), Moldova (8.067 thousand tonnes), Romania (5.281 thousand tonnes), Poland (3.637 thousand tonnes), Germany (2.904 thousand tons) and others increases.

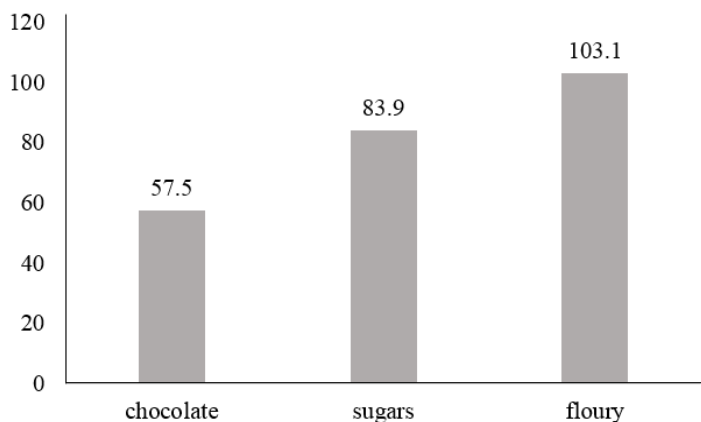


Fig. 4. Export of confectionery products from Ukraine in 2018 by section of assortment groups, thousand tons

In addition to the Russian embargo, there are a number of other barriers to the export of Ukrainian sweets. In particular, in some growing confectionery markets, import of Ukrainian sweet products is almost not carried out due to high customs tariffs. First of all, it concerns the markets of Pakistan, Egypt, Algeria, Brazil, Bangladesh and others. At the same time, Ukrainian manufacturers from Central Asian markets are trying to oust Russian companies that are able to export their products on better terms.

Also, Ukrainian exporters do not make full use of the potential of foreign trade with EU countries, since the European confectionery market is quite saturated and exporters are faced with the problem of access to Ukrainian products on the shelf of European trading networks. It should be borne in mind that most European confectionery market operators are supported by their countries (for example, in the form of tax cuts).

The analysis of the pastry market in the previous years shows that further prospects do not provide sufficient grounds for optimism. However, the positive chan-

ges are still evident. The last three years have been characterized by a stabilization of the situation in the confectionery market and even a slight increase in production in some parts of it, which has not been observed for several years. Exports to foreign markets are also promising. Experts estimate that in the next two years, Ukraine's confectionery market may increase exports to the European Union to \$ 450 million. China, the Gulf countries and some others are considered as promising markets.

In fact, the confectioners themselves, also give a positive assessment of the situation and believe that the lower limit is already behind and production will gradually increase. The hopes are connected with the support of the main investors of the industry — consumers.

In order to understand the trends of the confectionery market in terms of consumer preferences, its analysis was carried out on the basis of research of international analytical companies. Yes, the confectionery market is evolving through the global trend of healthy eating. According to Teshnavio, in 2018, the healthy food segment held the largest share of the global food market — 36%. The dynamics of this segment is explained by the growing demand for natural and environmentally friendly products. By region, the consumption of healthy foods is the largest in the markets of the Americas — about 38%. The EMEA (Europe, Middle East and Africa) and APAC (Asia Pacific) regions share other market shares. Hypermarkets and supermarkets, which own about 60% of all sales, remain the main distributors of healthy food products. The factors of simplicity, convenience of shopping, the presence of a wide range, as well as the growing number of such stores will continue to contribute to the growth of the share of online retail in the structure of sales of products for healthy food.

Euromonitor estimates global sales of healthy foods in 2017 to be around \$ 1 trillion. The confidence in the growth of this segment is evidenced by data from a global health and well-being survey conducted by Nielsen, which was attended by more than 30 thousand respondents. Key conclusion of the study: Consumers' views on healthy foods have changed. Consumers are willing to pay more for health promotion and weight loss products:

- about 88% of respondents are willing to pay more for healthier products;
- generation Z consumers (born in the mid-1990s) to baby boomers say they will pay more for healthy foods, including those that are considered completely natural;
- demanding functional preventative products, including: high fiber foods (36%), protein (32%), whole grains (30%), calcium-enriched (30%), vitamins (30%) or minerals (29%).

Functional products, which are still included in the category of biologically active additives in the Ukrainian market, have developed into a separate segment of nutraceuticals on the world market — products that are not medicines, but those that are of prophylactic importance for health promotion.

Such products are sold not through pharmacies, but through stores of different sizes. The global nutraceutical market is growing rapidly. According to Mordor Intelligence, the market capacity in 2017 was \$ 383.1 billion. According to forecasts, at an average annual growth rate of 6.8% for the period 2020—2025, the

world nutraceutical market should grow to \$ 561.4 billion. Thus, today we are talking about a stable trend, which generates new consumer benefits, which in turn, contribute to the formation of a new culture of food consumption.

Under the influence of a new culture of food consumption, the confectionery market will develop. The share of confectionery products is about 20% of the world nutraceutical market. Thus, functional sweets have quite good prospects. To realize their ability to be successful, competitive in today's market, manufacturers of the confectionery industry need to invest in advanced production and packaging technologies.

Conclusions

The geopolitical and economic crises have contributed to significant changes in the Ukrainian confectionery market, which have caused key industry players to lose their positions and buyers now have other orientations in their choice of sweets. In the structure of demand for confectionery products, there are dramatic changes under the influence of the trend of healthy eating. For fast and flexible response to consumer changes, owners of confectionery brands need complex technological solutions. Therefore, manufacturers need to place clear emphasis on those moments of the technological process that will make the finished confectionery product to demanded end consumers, which in turn will increase their loyalty to the brand in the conditions of formation of a new culture of consumption of confectionery products.

References

1. But O. Create a culinary masterpiece. Fillers for baking and confectionery. *The world of products*. 2019. № 4. P. 6.
2. But O. Expert decisions. Complex solutions for the confectionery industry. *The world of products*. 2019. № 2. P. 34—35.
3. Zaitseva O. Trends in the product market: from nutrition to impressions. *The world of products*. 2019. № 4. P. 14—16.
4. Kravchenko L. It's not all that smooth, but it's still sweet. Confectionery market analysis of Ukraine. *The world of products*. 2019. № 1. P. 18—20.
5. Selyuk L. The trend for naturalness. *Products & Ingredients*. 2016. № 3 (122). P. 43.
6. Strashynska L. Impact of consumer preferences on the formation of enterprise marketing strategies. Scientific Bulletin of Sukhomlynskyi Mykolaiv National University. *Economic sciences*. 2017. № 2 (9). P. 48—53.

FOOD SAFETY AS AN IMPORTANT COMPONENT OF ENTERPRISE COMPETITIVENESS

N. Skopenko, I. Yevsieieva-Severyna

National University of Food Technologies

Key words:

Food safety

Product quality

Food security

Risk factors

HACCP

Critical control points

Article history:

Received 15.04.2020

Received in revised form
29.04.2020

Accepted 18.05.2020

Corresponding author:

N. Skopenko

E-mail:

skopnata67@gmail.com

ABSTRACT

The article deals with the interpretation and clarification of the concepts of food safety and food security, risk factors that may arise and have a negative impact on the quality and safety of raw materials, semi-finished products and finished products. The importance of taking a risk-based approach for timely response to emerging food quality and safety issues has been proved. The necessity of improving the level of food safety at all stages of production activities and sales by defining critical control points (CCPs) is emphasized. CCPs management helps to prevent, eliminate or reduce potential risks and maintain hygiene throughout the food chain. It is noted that risk factors may be interlinked, one leads to other negative consequences — poor product quality, severe damage to the reputation and credibility of the enterprise.

The issue of food safety, nutrition and food security has been proved to be inextricably linked. Adequate, safe and balanced nutrition is an important factor in maintaining life and promoting public health. Problems of food quality and safety are typical for most countries of the world, confirming the necessity of the state to perform a control function for prevention of falsified or poor quality products at the market. It has been noted that it is important not only to organize regular inspections depending on the degree of riskiness of enterprises' activities, taking into account the type of products, features of the production process, the volume of production, the results of preliminary measures of state control, the efficiency of business processes of the enterprise etc., but also work towards the harmonization of domestic standards with European and international requirements. Such activities will contribute to the possibility of domestic enterprises to enter foreign markets, confirmation and provision of consumers with finished products with high quality and safety, improving the image of the state in the international community.

БЕЗПЕЧНІСТЬ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

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

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню та уточненню понятійно-категорійного апарату безпечності харчових продуктів і продовольчої безпеки, факторам ризиків, що можуть виникати і чинити негативний вплив на якість та безпечність сировини, напівфабрикатів та готової продукції. Обґрунтовано необхідність використовувати ризик-орієнтований підхід для вчасного реагування на проблеми якості та безпечності харчових продуктів. Акцентовано увагу на необхідності підвищення рівня безпечності продуктів харчування на всіх етапах виробничої діяльності та її реалізації шляхом визначення критичних контрольних точок (ККТ). Управління ККТ сприятиме запобіганню, усуненню або зменшенню до допустимого рівня потенційних ризиків і підтриманню гігієни у всьому харчовому ланцюгу. Наголошено, що фактори ризику можуть бути пов'язані між собою, настання одного спричиняє інші негативні наслідки, що призводить до погіршення якості та безпечності продукції, а також завдає значних втрат іміджу та довіри до підприємств.

Доведено, що питання безпечності харчових продуктів, харчування та продовольчої безпеки нерозривно пов'язані. Достатня кількість безпечного та збалансованого харчування є важливим фактором для підтримки життя та зміцнення здоров'я населення. Проблеми якості і безпечності продуктів харчування характерні для більшості країн світу, що підтверджує необхідність держави виконувати контрольну функцію з метою недопущення фальсифікованої або неякісної продукції на ринок. Зазначено, що важливим є не тільки організація регулярних перевірок залежно від ступеня ризикованості діяльності підприємств, що визначатиметься з огляду на вид продукції, особливості виробничого процесу, кількість виготовленої продукції, результати попередніх заходів державного контролю, ефективність бізнес-процесів підприємства тощо, а й робота в напрямку гармонізації вітчизняних стандартів до європейських і міжнародних вимог. Така діяльність сприятиме можливості виходу вітчизняних підприємств на закордонні ринки, підтвердженню та гарантуванню споживачам високої якості та безпечності готової продукції, покращенню іміджу держави в міжнародному просторі.

Ключові слова: безпечність харчових продуктів, якість продукції, продовольча безпека, фактори ризиків, НАССР, контрольні критичні точки.

Постановка проблеми. Ефективність діяльності вітчизняних підприємств забезпечується їхньою спроможністю виготовляти якісну та безпечну продукцію. Поняття якості харчового продукту повинно включати його безпечність

для споживача і поживну корисність. Якість і безпечність продукції залежить від якості сировини та матеріалів, рівня розвитку науки, прогресивності техніки й технологій, що застосовуються, організації праці і виробництва, кваліфікації кадрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія розвитку стратегії харчової безпеки почалась з 1960 р., коли був розроблений Кодекс Аліментаріус спільно двома організаціями ООН: Організацією продовольства та сільського господарства (ФАО, англ. Food and Agriculture Organization, FAO) та Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) [1]. Його мета полягала в тому, щоб сприяти розробці та встановленню визначень і вимог до харчових продуктів, їхній гармонізації для розширення міжнародної торгівлі. Кодекс Аліментаріус містить стандарти для всіх основних видів їжі — сирі, напівпереробленої (напівфабрикати) та переробленої, які призначені для доставки споживачеві, а також положення про гігієну харчових продуктів, харчові добавки, залишки пестицидів, забруднювачі, маркування продуктів, методи їхнього аналізу та відбору.

Протягом наступних 50 років були розроблені численні визнані міжнародні стандарти щодо якості продукції, яких дотримується більшість харчових виробників у світі, в тому числі й Україна, проте основою будь-якого документа стосовно безпечності харчових продуктів є Кодекс Аліментаріус.

В Україні діють ЗУ «Про безпечність та якість харчових продуктів», ЗУ «Про державну підтримку сільського господарства України», ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», ЗУ «Про стандартизацію», ЗУ «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин», ЗУ «Про захист прав споживачів» [2—7]. Всі ці нормативні документи направлені на приведення якості та безпечності вітчизняної харчової продукції до міжнародних вимог, що надасть можливість здійснювати експортну діяльність і стати рівноправною країною-членом міжнародної торгівлі.

Кожне переробне підприємство харчової промисловості ставить за мету досягнення високих показників роботи, що відображається у кількості та якості продукції, яка випускається, задоволенні потреб споживачів.

Незважаючи на значний доробок у напрямку удосконалення законодавства, впровадження міжнародних систем якості, існує багато невирішених питань щодо безпечності продукції, забезпеченню контролю всіх елементів ланцюга з метою мінімізації впливу негативних чинників на готову продукцію. Велику увагу треба приділяти не тільки процесам виробництва, але й шляхам доведення готової продукції до кінцевого споживача.

Метою статті є дослідження та уточнення понятійно-категорійного апарату безпечності харчових продуктів і продовольчої безпеки; врахування екологічних характеристик продукції та екологічного дизайну як необхідних складових безпечності продукції; обґрунтування необхідності використання ризик-орієнтованого підходу для вчасного реагування на проблеми якості та безпеч-

ності харчових продуктів на всіх етапах виробничого ланцюга та реалізації продукції.

Викладення основних результатів дослідження. Питання забезпечення безпечності харчових продуктів відноситься до глобальних питань і вирішується на всіх рівнях — національному, регіональному, міжнародному. Європейський Союз визначає безпечність харчових продуктів одним з головних пріоритетів своєї політики [8].

Треба зазначити, що в працях зарубіжних вчених застосовуються поняття food safety (харчова безпека) та food security (продовольча безпека), що є взаємодоповнюючими поняттями.

Безпечність харчових продуктів (харчова безпека, food safety) — це складний процес, який має довгий трансформаційний ланцюг (починаючись від фермерських господарств (отримання сировини) і завершуючись у процесі споживання кінцевим споживачем (вживання готової продукції) [2]. Харчовий продукт може отримати ознаки зараження на будь-якій стадії життєвого циклу — починаючи від забезпечення сировинними ресурсами, що використовується для виробництва певної продукції, і закінчуючи процесами зберігання, транспортування, продажу і навіть прямого споживання.

Досліджуючи поняття безпеки, треба концентрувати увагу на харчових властивостях продуктів, їхній гігієні, впливі на здоров'я людини, харчових добавках, що використовуються у виробництві тощо.

Харчова безпека (безпечність харчових продуктів) охоплює проблеми обробки, підготовки та зберігання харчових продуктів таким чином, щоб запобігти хворобам харчового походження [8].

Небезпечні продукти харчування, що містять хвороботворні бактерії, віруси, паразити або шкідливі хімічні речовини, є причиною більш 200 різноманітних хвороб — від діареї і до онкологічних захворювань. За оцінкою ВООЗ, 600 млн людей (майже кожна десята людина в світі) стали жертвами вживання неякісних харчових продуктів. 420 000 людей щорічно помирають через вживання небезпечних харчових продуктів. 40% хвороб харчового походження припадає на дітей віком до п'яти років — в середньому налічується 125 000 випадків смерті [8].

При забезпеченні харчової безпеки (безпечності харчових продуктів) найбільш загрозливими є біологічні ризики, тобто ймовірність або можливість виникнення біологічної небезпеки (негативного впливу біологічних патогенів будь-якого рівня і походження). До біологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносять такі біологічні об'єкти: патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, гриби, найпростіші) та продукти їхньої життєдіяльності, які спричиняють захворювання людини. Вони можуть потрапляти у тваринницьку продукцію безпосередньо з організму тварини або ззовні в будь-яку продукцію за недотримання відповідних санітарно-гігієнічних норм і вимог.

Так само на безпечність харчових продуктів впливають різні фізичні фактори. До фізичних небезпечних факторів відносять різноманітні тверді сторонні предмети, які також можуть потрапляти в продукцію на різних етапах її ви-

робництва (скло, деревина, каміння, металеві предмети, полімерні матеріали, шкаралупа горіхів, фруктові кісточки, частини комах тощо).

Хімічні небезпечні фактори також можуть потрапляти в продукцію як у процесі її виробництва, так і в процесі переробки. До них відносять: речовини, які утворюються природним шляхом (наприклад, різноманітні алергени, мікотоксини тощо), такі, що потрапили в сільгосппродукцію при її виробництві (агрохімікати — пестициди та добрива, залишкові кількості ветпрепаратів — антибіотики, сульфаніламід, гормони, а також важкі метали та інші контамінанти — дезінфектанти, миючі засоби, мастильні матеріали, фарби, хімічні речовини з пакувальних матеріалів); речовини, що утворюються в процесі приготування харчових продуктів, наприклад, при надмірному нагріванні тваринних жирів [9].

Для проведення аналізу мікробіологічних і хімічних небезпек варто врахувати всі небезпеки, які можуть потрапити із сировиною, водою, повітрям, пакувальними матеріалами, устаткуванням, інвентарем тощо. Необхідно врахувати й ті небезпеки, які можуть виникнути в результаті перетворень компонентів сировини у готову продукцію. Наприклад, при окислюванні жирів утворюються перекиси, шкідливі для здоров'я людини; при розщепленні білків утворюються аміни — токсичні з'єднання. Тому необхідно мати досить багато інформації з різних джерел, щоб дати об'єктивну оцінку всім можливим небезпекам [10].

Харчові отруєння, крім шкоди для здоров'я конкретної людини, завдають значних втрат економіці та іміджу держави, виробничим підприємствам, торгівлі, туризму (рис. 1).



Рис. 1. Негативні наслідки від споживання неякісних і небезпечних продуктів харчування, [11]

Необхідність підвищення рівня безпечності продуктів харчування на всіх етапах виробничої діяльності, запобігання виникненню ризиків викликає потребу у впровадженні системи НАССР (англ. Hazard Analysis and Critical Control Points — Аналіз ризиків і контролю критичних точок) на підприємствах, що гарантує підвищення конкурентоспроможності харчової продукції.

Системи НАССР ідентифікує, оцінює і контролює небезпечні фактори, які є визначальними для безпеки харчових продуктів. Вона гарантує безпеку продукції на повному шляху харчового ланцюжка і дає змогу виявити всі критичні точки, які можуть вплинути на безпечність кінцевого продукту, усунути шкідливі фактори і контролювати повний процес виробництва.

Критичною точкою називається стадія, етап або процес, над якими можна застосувати управління для запобігання, усунення або зменшення до допустимого рівня потенційних ризиків [12].

Необхідно зауважити, що система НАССР є обов'язковою в більшості цивілізованих країн, таких як країни Євросоюзу, США, Канада, Японія, Нова Зеландія та ін. [13].

Згідно із ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» [4] з вересня 2019 р. система безпеки харчової продукції НАССР має бути впроваджена на всіх українських підприємствах, діяльність яких пов'язана з харчовими продуктами.

Застосування НАССР передбачає розробку та впровадження операторами ринку процедур для підтримання гігієни у всьому харчовому ланцюгу, які необхідні для виробництва та постачання безпечних харчових продуктів для споживання людиною, а також правил поводження з харчовими продуктами (рис. 2). Метою такої діяльності є не тільки отримання стабільних прибутків, але й забезпечення сталого розвитку компаній, можливості виходу на закордонні ринки, підтвердження та гарантування споживачам високої якості готової продукції.



Рис. 2. Критичні контрольні точки (ККТ) у виробничому ланцюгу, [14, с. 54]

При проведенні аналізу небезпечних чинників і визначенні ККТ відповідно до кожної стадії технологічного процесу проводять ідентифікацію та з'ясову-

ють ступінь суттєвості впливу та ймовірності потенційних небезпек за певними шкалами, одна з яких наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Критерії оцінки ймовірності виникнення небезпечних чинників, [14]

Ймовірність виникнення	Ступінь вірогідності	Шкала оцінки, бал
Є випадки виникнення або перевищення на підприємстві, або існує ймовірність цього від одного разу за зміну чи частіше	Високий	1
Є випадки виникнення або перевищення на подібних підприємствах, або існує ймовірність цього на підприємстві від декількох разів на місяць до одного разу за зміну	Середній	2
Продукт є мікробіологічно чутливим або існує ймовірність порушення рецептури, процедур, заходів управління привнесення або забруднення від декількох разів на рік до одного разу на місяць	Незначний	3
Практичний досвід виробництва й контролю продукції та наукові дані свідчать про низьку ймовірність виникнення або посилення небезпечного чинника від одного разу на рік і рідше	Практично дорівнює нулю	4

Відповідно до НАССР, відповідальність за безпечність харчових продуктів несе виробник, а контрольну функцію виконує держава, яка гарантує безперешкодний економічний доступ людини до продуктів харчування з метою підтримання її звичайної життєвої діяльності.

Останнім часом велика увага приділяється екологічності сировини, упакованню готового продукту та можливості зменшення відходів виробництва.

Існує безпосередній зв'язок між дотриманням принципів екологічного управління діяльністю та поліпшенням екологічних характеристик продукції. З року в рік у свідомості споживачів якість продукції здебільшого асоціюється з її відповідністю екологічним стандартам. Завдяки впровадженню системи екологічного управління можна значно раціоналізувати споживання сировинних матеріалів, води, енергії, скорочуючи таким чином виробничі витрати.

Все більшої уваги підприємства приділяють екологічному дизайну, який полягає в гармонізації відносин людини і навколишнього середовища, спрямованої на реалізацію в об'єктах, що проєктуються, зближення вимог природного середовища зі споживчими й естетичними вимогами людини: охорони довкілля, економії природних ресурсів, безвідходних технологій виробництва, організації процесів розумного споживання та перероблення продукції [15]. Крім того, вихід на нові ринки збуту, особливо в розвинених країнах, є неможливим без дотримання міжнародних екологічних стандартів і критеріїв екологічності, що забезпечить безпечність готової продукції.

Продовольча безпека (food security) — це питання надійного постачання продовольства для всього населення. Продовольча безпека згідно із ЗУ «Про продовольчу безпеку України» — соціально-економічний та екологічний стан в державі при якому всі її громадяни стабільно та гарантовано забезпечені продовольством у необхідній кількості, асортименті та відповідної якості [16].

Продовольча безпека полягає у відповідальності уряду певної країни, що повинні забезпечувати людей достатньою кількістю продуктів харчування та можливістю придбати її. Відповідальність за безпеку харчових продуктів несуть компанії, які виробляють певні товари, зберігають і доставляють їх споживачеві. Для покупця (і споживача в цілому) обидві характеристики безпеки (харчова і продовольча) є дуже важливими, оскільки вони мають безпосередній вплив на здоров'я та життя людини.

Питання безпеки харчових продуктів, харчування та продовольчої безпеки нерозривно пов'язані. Як відзначає ВООЗ, достатня кількість безпечного та збалансованого харчування є важливим фактором для підтримки життя та зміцнення здоров'я [8].

Небезпечні продукти харчування не сприяють забезпеченню продовольчої безпеки, адже призводять до харчових отруєнь, захворювання населення, тобто невиконання норм гарантування державою права людей отримати безпечні харчові продукти.

Проблеми з якості і безпечності продуктів харчування характерні для більшості країн світу, і періодичні державні перевірки виявляють невідповідність продуктів зазначеному складу або маркуванню.

Так, наприклад, при проведенні прикордонного ветеринарного контролю був виявлений бензопірен у консервах рибних шпрот, що надійшли з Латвії [17]. Бензопірен — речовина першого класу небезпеки. Зміни, які викликає бензопірен, незворотні, це сильний канцероген і мутаген, він може спричинити онкологічні захворювання і генетичні проблеми у майбутніх дітей. Особливо важливий той факт, що бензопірен при потраплянні в організм не виводиться, а накопичується. На жаль, серед харчових продуктів найвища концентрація бензопірену трапляється в копчених продуктах (у тому числі — в шпротах), м'ясних і рибних продуктах, консервах. В інших продуктах, згідно з правилами, бензопірену не має бути, але на практиці перевірки показують, що він часто міститься в смаженому насінні, соняшниковій олії, майонезі, сухофруктах, шоколаді. Методів «очищення» організму від цієї речовини немає, тому єдиний спосіб уникнути його шкідливого впливу — не вживати ці продукти або зменшувати кількість їх споживання [18].

У Китаї в продукції трьох найбільших виробників заміників грудного молока було виявлено меламін. Недобросовісні китайські виробники додавали меламін у молоко і молочні суміші з метою імітації високого вмісту білка. У високих концентраціях меламін може призвести до розвитку сечокам'яної хвороби. Унаслідок отруєння меламіном у Китаї померли шестеро немовлят, які перебували на штучному вигодовуванні, медична допомога була потрібна в цілому більше ніж 300 тисячам дітей [19]. У країнах ЄС конина була виявлена в м'ясних напівфабрикатах, хоча на упаковці було зазначено, що продукти виготовлені з яловичини і свинини [20].

У соняшниковій олії, виготовленій в Україні, були виявлені домішки нафтопродуктів. Забруднені партії виявлені в Греції, Франції та Італії — всього близько 40 000 т [21].

Також у 12 регіонах Німеччини були виявлені курячі яйця, що містять отруйну речовину — діоксин. Причиною попадання стала кукурудза з України, яка оброблювалася цією речовиною і використовувалася у виробництві комбікормів [22]. Короткочасна дія на людину високих рівнів діоксину може призвести до патологічних змін шкіри, а також до змін функції печінки. Тривала дія приводить до ушкодження імунної системи, нервової системи, ендокринної системи і репродуктивних функцій [23].

Для запобігання наявності на ринках неякісних та небезпечних харчових продуктів у кожній країні розроблюються певні напрямки державної політики. В Україні вони визначаються ЗУ «Про безпечність та якість харчових продуктів» та ЗУ «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» [2; 4], що визначають пріоритетність збереження і зміцнення здоров'я людини та визначення її права на якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини. Основні положення зазначених законів направлені на створення гарантій безпеки для здоров'я людини під час виготовлення, ввезення, транспортування, зберігання, реалізації, використання, споживання, утилізації або знищення харчових продуктів і продовольчої сировини; державний контроль і нагляд за виробництвом, переробкою, транспортуванням, зберіганням, реалізацією, використанням, утилізацією готової продукції, встановлення відповідальності виробників, продавців (постачальників) харчових продуктів, продовольчої сировини і супутніх матеріалів за забезпеченням їх якості та безпеки для здоров'я людини.

Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів реалізує державну політику у сферах безпечності та окремих показників якості харчових продуктів [24].

У 2018 р. набрав чинності Закон України «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» [6], який прийнятий з метою гармонізації законодавства України щодо державного контролю за безпечністю та якістю харчових продуктів до Регламентів ЄС №854/2004, № 882/2004, № 669/2009 та Директиви Ради ЄС № 97/78/ЄС. Закон передбачає ряд нововведень, зокрема щодо порядку, підстав та оформлення перевірки операторів ринку харчових продуктів, впроваджується механізм контролю з боку громадськості та оновлюється розмір і підстави штрафних санкцій за порушення законодавства у сфері якості та безпечності харчових продуктів.

Основним нововведенням є ризик-орієнтований підхід до перевірок операторів ринку, який означає, що чим нижчий рівень ризику діяльності оператора ринку, тим нижча частота перевірок з боку контролюючого органу. Підприємства перевіряють залежно від ступеня ризику їхньої діяльності для життя і здоров'я людей. Наприклад, суб'єкт господарювання, який віднесений до високого ступеня ризику, буде перевірятися раз у квартал. Під час такої категоризації братимуться до уваги вид продукції, з якою має справу підприємство, особливості відповідного виробничого процесу, кількість виготовленої продукції, результати попередніх заходів державного контролю, ефективність бізнес-процесів підприємства та інша інформація, що може свідчити про порушення ним законодавства [25].

На відміну від попереднього порядку, за яким підприємства попереджались про проведення перевірки заздалегідь, цей закон передбачає, що заходи державного контролю здійснюватимуться без попередження (повідомлення) оператора ринку, крім як аудиту та інших випадків, коли таке попередження є необхідною умовою забезпечення ефективності державного контролю. Крім того, у перевірках зі сторони суб'єкта господарювання можуть брати участь представники громадських організацій. Перевірки можуть бути не тільки на виробництві. Наприклад, нерідко буває, що товар псується під час перевезення або неправильного зберігання в магазині. Щоб знайти винного, необхідно перевіряти весь ланцюжок [26].

Виробники, розуміючи необхідність покращення якості та безпечності продукції, як правило, самостійно вибудовують принципи роботи, забезпечуючи контроль всіх елементів ланцюга — від поставки сировини аж до отримання продукції споживачем. Така робота дає позитивні результати і забезпечує якість готової продукції кінцевому споживачеві, а з іншого боку — збільшує витрати на організацію контрольних заходів.

Визначення критичних контрольних точок на всіх етапах, починаючи від доставки сировини, проходження технологічних процесів, отримання, забезпечення і доставки готової продукції дає змогу передбачити потенційні ризики (небезпеки), вчасно на них реагувати з метою недопущення погіршення якості та безпечності продукції та організації процесів виробництва. Постійні покращення окремих елементів ланцюга, вдосконалення процесів, недопущення (мінімізація впливу) негативних факторів сприятимуть забезпеченню конкурентоспроможності та формуванню стабільного іміджу підприємства.

Висновки

Отже, проведене дослідження надає можливість зробити висновок, що концентрація уваги на ризик-орієнтованому підході забезпечує покращення якості та безпечності харчової продукції шляхом знаходження критичних контрольних точок на всіх етапах виробничого ланцюга та доставки продукції кінцевому споживачеві.

Перспективами подальших досліджень буде здійснення порівняння вимог міжнародних, європейських стандартів щодо якості готової продукції з національними з метою їх гармонізації та імплементації кращих практик господарювання, удосконалення проведення процедур сертифікації продукції, послуг і систем управління для підтвердження високого рівня якості та безпечності вітчизняної харчової продукції.

Література

1. Codex Alimentarius. International food standards. URL: <http://www.fao.org/fao-who-codex-alimentarius/home/en/>.
2. Про безпечність та якість харчових продуктів. Закон України від 23.12.1997 р. № 771/97-ВР. Дата оновлення: 31.05.2011. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/ed_2011_02_03/Z970771.html.
3. Про державну підтримку сільського господарства України. Закон України від 2004 р., № 49, ст. 527. Дата оновлення: 27.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1877-15>.
4. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів. Закон України від 1998 р., № 19, ст. 98. Дата оновлення: 16.01.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>.

5. Про стандартизацію. Закон України від 2014 р., № 31, ст. 1058. Дата оновлення: 19.04.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>.
6. Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин. Закон України від 2017 р., № 31, ст.343. Дата оновлення: 13.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19>.
7. Про захист прав споживачів. Закон України від 1991 р., № 30, ст.379. Дата оновлення: 27.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12>.
8. Харчова безпека — що потрібно знати. URL: <https://phc.org.ua/news/kharchova-bezpeka-scho-potribno-znati>
9. Система HACCP. Що це? URL: https://a7d.com.ua/analtika/svtovijj_dosvd/6735-sistema-nassr-scho-ce.html.
10. Аналіз і оцінка ризиків виробництва за системою HACCP. URL: <http://market.avianua.com/?p=4119>.
11. Методи визначення фальсифікації товарів: підручник / А. А. Дубініна та ін. К.: «Видавничий дім «Професіонал», 2010. 272 с.
12. Впровадження системи HACCP на підприємстві — 12 кроків. URL: <http://market.avianua.com/?p=4183>.
13. Внедрение HACCP в Украине необходимо для всех предприятий. URL: <http://nvppoint.com/ru/vnedrenie-haccp-v-ukraine-neobhodimo-dlya-vseh-predpriyatiy/>.
14. Мостова Л. М, Клузович Т. В. Управління якістю та безпечністю при виробництві кисломолочного сиру оздоровчого призначення. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 2/10 (74). 2015. С. 50—57.
15. Дизайнерська діяльність: екологічне проектування. науково-методичне видання / В. О. Свірко та ін. К.: УкрНДІДЕ, 2016. 196 с.
16. Про продовольчу безпеку України. Закон України (Друге читання). URL: <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/pt/reports.leftcol?ptid=9609>.
17. Латвия проверит шпроты на содержание канцерогена. URL: https://www.bbc.com/russian/russia/2014/01/140114_russia_latvia_sprats.
18. Чим небезпечний бензопірену продуктах. URL: <https://www.unian.ua/health/country/823180-chim-nebezpechniy-benzopiren-u-produktah.html><https://www.unian.ua/health/country/823180-chim-nebezpechniy-benzopiren-u-produktah.html>.
19. Тепер меламін знайшли в китайському морозиві. URL: <https://www.unian.ua/society/316418-teper-melamin-znayshli-v-kitayskomu-morozivi.html>.
20. В ЄС набирає обертів скандал з кониною. URL: <https://www.obozrevatel.com/ukr/abroad/57361-v-es-nabirae-obertiv-skandal-z-koninoyu.htm>.
21. Українській соняшниковій олії не солодко. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/1118769.html>
22. Діоксидна криза як експеримент. URL: <http://organic.ua/uk/component/content/article/18-xp/69-dioksynova-kryza-jak-eksperiment>.
23. Діоксин та його вплив на здоров'я людей. URL: <https://www.unian.ua/health/country/88853-dioksin-ta-yogo-vpliv-na-zdorovya-lyudey.html>.
24. Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. URL: http://www.consumer.gov.ua/ContentPages/Pro_Sluzhbu/284/.
25. Набрал чинності закон, який виводить систему держконтролю за харчовою продукцією на якісно новий рівень. URL: http://www.consumer.gov.ua/News/3098/Nabrav_chinnosti_zakon_yakiy_vivodit_sistemu_derzhkontrolyu_za_kharchovoyu_produktsieyu_na_yakisno_noviy_riven.
26. Набув чинності закон про нові правила перевірок у сфері безпечності харчових продуктів. URL: <https://ukrainepravo.com/news/ukraine/nabuv-chynnosti-zakon-pro-novi-pravyla-perevirok-u-sferi-bezpechnosti-kharchovykh-produktiv/>.

VITICULTURE DEVELOPMENT IN THE ENTERPRISES AT THE SOUTH OF UKRAINE

M. Ilchuk, V. Radko, M. Dmytruk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

V. Kucherenko

Ukrainian Corporation for Viticulture and Wine Industry “Ukrvinprom”

Key words:

*Production
Grape
Agricultural enterprises
Profitability
Investments
Efficiency*

Article history:

Received 23.04.2020

Received in revised form
19.05.2020

Accepted 02.06.2020

Corresponding author:

V. Kucherenko

E-mail:

winekvm@gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to the main issues of viticulture development in agricultural enterprises of the south of Ukraine. Ensuring the balanced development of grape production requires a clear elaboration of the relevant organizational and economic principles as a necessary basis for optimizing relations between all participants in the grape market. At the domestic grape market a significant amount of demand is not met by domestic producers, which may be a stimulus for the expansion of domestic production through import substitution. To solve the problem of low competitiveness of domestic grapes on the world market it is necessary to improve the organization of production, the quality of products and deepen marketing activities to ensure effective sales.

It is calculated the integrated index of grape production enterprises in the article, according to which they are grouped. The project indicators of grape production development in the agricultural enterprises of Kherson region by deepening cooperation are determined. One of the important problems of viticulture development in agricultural enterprises is its significant capital intensity, which indicates the need for investment to start this type of business. Based on the results of the research, an investment project for the planting of vineyards was developed and its attractiveness was established. It is established that the development of grape production provides an economic and social effect, which is manifested through the improvement of performance of economic entities and the creation of new jobs with competitive wages. With the economic recovery in the viticulture the amount of contributions to the budgets of different levels will increase. The implementation of the proposed recommendations to ensure the effective development of grape production in agricultural enterprises in the south of Ukraine will have a synergistic effect at different levels of its performance.

РОЗВИТОК ВИНОГРАДАРСТВА В ПІДПРИЄМСТВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

М. М. Ільчук, В. І. Радько, М. І. Дмитрук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В. М. Кучеренко

Українська корпорація по виноградарству і виноробній промисловості
«Укрвинпром»

Стаття присвячена основним питанням розвитку виноградарства в сільськогосподарських підприємствах півдня України. Визначено, що забезпечення збалансованого розвитку виробництва винограду потребує чіткого опрацювання відповідних організаційно-економічних засад як необхідної бази оптимізації відносин між усіма учасниками ринку винограду. На внутрішньому ринку винограду значний обсяг попиту не задовольняється вітчизняними товаровиробниками, що може бути стимулюючим чинником для розширення внутрішнього виробництва за рахунок імпортозаміщення. Для вирішення проблеми низької конкурентоспроможності вітчизняного винограду на світовому ринку необхідно удосконалювати організацію виробництва, підвищувати якість отриманої продукції та поглиблювати маркетингові заходи для забезпечення ефективної реалізації продукції.

Розраховано інтегральний індекс підприємств з виробництва винограду, за яким проведено їх групування. Визначено проектні показники розвитку виробництва винограду в господарствах Херсонської області шляхом поглиблення кооперації. Однією з важливих проблем розвитку виноградарства в сільськогосподарських підприємствах є значна його капіталомісткість, що вказує на потребу в інвестиціях для започаткування такого виду бізнесу. За результатами проведених досліджень розроблено інвестиційний проект закладки виноградних насаджень і підтверджено його привабливість. Встановлено, що розвиток виробництва винограду забезпечує економічний і соціальний ефект, який проявляється через покращення результативних показників господарювання суб'єктів господарювання та створення нових робочих місць з конкурентною оплатою праці. З економічним пожвавленням у виноградарській галузі збільшуватимуться обсяги відрахувань до бюджетів різних рівнів. Реалізація запропонованих рекомендацій щодо забезпечення ефективного розвитку виробництва винограду в сільськогосподарських підприємствах півдня України матиме синергійний ефект на різних рівнях його прояву.

Ключові слова: виробництво, виноград, сільськогосподарські підприємства, рентабельність, інвестиції, ефективність.

The topic of the research. There were some positive trends in Ukrainian agrarian sector last years. Production volumes and labor productivity are increasing but the profits of a large number of agricultural enterprises are diminished due to the increase in the cost of production and the limited buying ability of most consumers. Producers try to optimize their production programs and look for more effective areas of business activity. It allows them to intensify business activities and increase own profitability. At the same time, diversification of agricultural enterprises activities has a

positive effect on the competitiveness of the domestic agro-industrial complex and the food security of the state.

Growing grapes is one of the most effective business activities in agriculture. Its development requires a clear elaboration of appropriate organizational and economic principles as a necessary basis for optimizing relations between all participants in the grape market. Nowadays, viticulture in Ukraine is not going through its best time: the use of outdated technologies and the need for significant capital investments limit the industry development. Although its profitability is much higher than other most common types of agricultural products. Formation of economic mechanism and system of relations between producers, processors, consumers, state and public institutions will allow to increase the competitiveness of domestic wine-growing enterprises and economic efficiency of their activity.

Analysis of recent research and publications. Theoretical, practical and methodological aspects of sustainable development of grape production and viticulture have been revealed in the works of O. Avlasenko [1], I. Belous [2], V. Vlasov [4], L. Dzhaburiya, M. Ilchuk, M. Popova [12] and others.

At the same time providing of organizational and economic basics for the development of viticulture in agricultural enterprises of southern Ukraine, determining its main directions for the future at the level of the enterprise and region are still actual problems. It has to be solved what became a main reason to choose the topic of this research, its purpose and objectives, the subject and object of the research.

Methods of the research. The tasks of the research were solved with the use of general scientific and special methods: method of theoretical generalization — to discover the essence of the concept of “development of grape production”; abstract-logical method — to evaluate the problems of production activity by the enterprises of the viticulture industry and making the conclusions; analysis and synthesis method — to reveal the main trends in the production of grapes in agricultural enterprises; economic and statistical method — to assess the development level of vineyards; grouping method — to identify the dependencies between the main factors of efficient grape production, method of economic and mathematical modeling — to form a model of development of enterprises of the viticulture industry.

Main aim of the research is to evaluate viticulture in the enterprises at the south of Ukraine, to identify the main trends and to prepare the proposals of its development.

Results of the research. The development of economic relations in the agricultural sector is characterized by a deepening of the market. Unmet demand drives up supply. The profitability of a large part of agricultural products is gradually diminished as a result of the production cost increase and the saturation of the global market. It leads to the search for alternative ways of ensuring competitive development of both enterprises and the national economy as a whole.

Other directions of agrarian production are actively deepening during last years: horticulture, berry growing, vegetable growing, growing of non-traditional crops. Ukraine has all conditions for such business activities: demand (both internal and external) and sufficient production resources of agricultural enterprises. Even though agribusiness is supported through subsidies and subsidies in many countries, Ukrainian products are competitive in European and other markets.

Other directions of agrarian production such as gardening, berry growing, vegetable growing etc. are actively developing during last time. Ukraine has all the nece-

ssary prerequisites for this: demand (both internal and external) and sufficient production resources of agricultural enterprises. Despite the fact that agribusiness in many countries is supported through subsidies and other donations, Ukrainian products are competitive in European and other markets.

Climatic and raw material is an important problem holding back the development of viticulture in Ukraine. After the destruction of large plantations of grapes in 1980—1990, the question of their restoration was raised. This problem solved mainly with varieties imported from Western Europe but many of them had bad frost resistance and therefore they were unsuitable for cultivation within Ukraine [12].

The economic efficiency of agricultural production is characterized by a number of natural and relative indexes. It is proposed to deepen the use of indexes that characterize labor productivity. The traditional approaches are complemented by calculations that reflect the formation of value added by one worker in the viticulture. To determine it, it is advisable to use the following formula:

$$LP = \frac{W + P + D}{N_e}$$

LP — labour productivity; W — remuneration of employees; P — profit; D — depreciation; N_e — number of employees.

The area of vineyards and grape production have decreased in 2013—2017 (table 1). The main reason for this situation was the inability to take into account the producers of the Autonomous Republic of Crimea, parts of Donetsk and Luhansk regions after 2013. For an objective economic assessment of the viticulture, analytical data of grape growing by agricultural enterprises from 2014 were taken. In 2017, the area of vineyards was 30.6 thousand hectares, which is 5.1 thousand hectares more than in 2014, or 20%, which led to an increase in production — up to 240.1 thousand tons, or 10%. At the same time, the volume of sales of grape products increased by only 4.6%. As a result, the level of marketability decreased by 5.0% to 74.7%.

Table 1. Main indexes of grape production economic efficiency in agricultural enterprises of Ukraine *

Indexes	Year					2017 to 2014, %
	2013	2014 ¹	2015 ¹	2016 ¹	2017 ¹	
Area, thsnds ha	46.8	25.5	24.0	23.8	30.6	120.0
Yield, c/ha	77.9	85.7	77.7	84.9	84.0	98.0
Production, thsnds t	364.7	218.3	186.5	202.4	240.1	110.0
Sales, thsnds t	245.1	171.5	144.4	157.9	179.4	104.6
Marketability level, %	67.2	78.6	77.4	78.0	74.7	95.0
Production costs, UAH/c	184.28	196.25	293.86	338.4	349.3	178.0
Production costs, UAH/ha	14363	16814	22830	28716	27408	163.0
Total costs, UAH/c	191.34	205.95	321.87	361.05	—	—
Price, UAH/c	386.50	333.56	651.30	630.39	621.95	186.5
Profit, UAH/c	194.86	126.36	329.42	269.24	—	—
Profitability level, %	101.7	61.0	102.35	74.6	51.6	X

Note: * It is systematized by authors according to the State Statistics Service of Ukraine[10, 11, 14].

¹ The data is given without taking into account the temporarily occupied territory of the Autonomous Republic of Crimea, the city of Sevastopol, and parts of the area of anti-terrorist operation.

According to the results of the research it is proved that the profitability of grape production depends on the level of its concentration (Fig. 1).

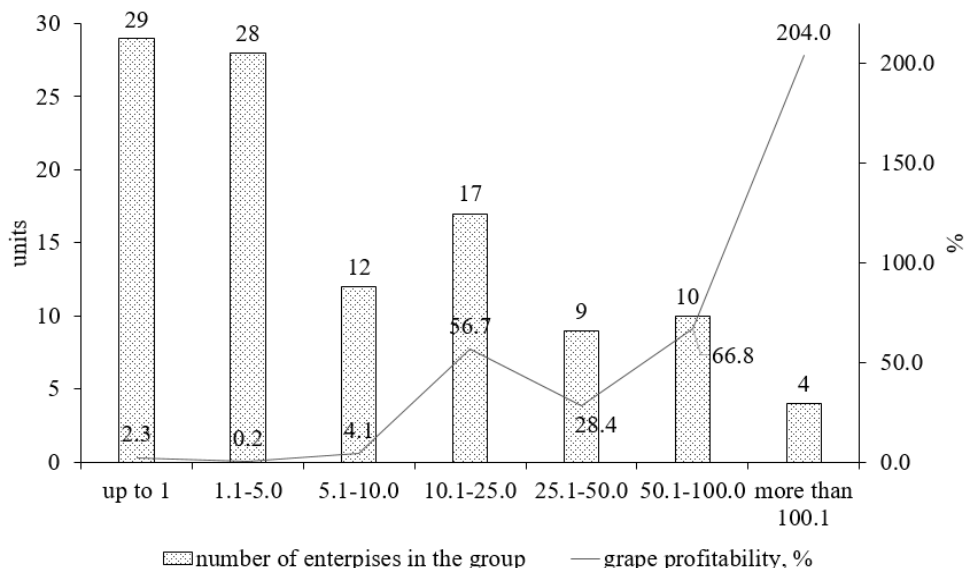


Fig. 1. Impact of grape production on the level of its profitability, 2015—2017, created by the authors according to the State Statistics Service of Ukraine [10; 11; 14]

According to the results of research, the correlation-regression model of the dependence of grape yield on the size of the area of its plantations and the volume of production costs per unit area takes the form:

$$Y = 4.3221 + 0.0496 X_1 + 0.00193 X_2,$$

Y — grape yield, t/ha; X_1 — area of vineyards; X_2 — production costs per 1 ha, UAH.

The model of the profitability of grape production depending on its yield, cost and sales price is described below:

$$Y = -2.39463 + 0.44156 X_1 + 8.34664 X_2 - 0.07145 X_3 + 0.085253 X_4,$$

Y — profitability of grapes, %; X_1 — yield, t/ha; X_2 — market share, %; X_3 — the costs of 1 ton, UAH; X_4 — the price of 1 ton, UAH.

In a research the integral index of grape production was calculated which became a base for a grouping of enterprises (table 2).

Table 2. Grouping of grape growing enterprises by the integrated economic evaluation index *

Indexes	Division of grape growing enterprises according to integrated index		
	1 st group index less than 0	2 nd group index from 0 to 0.2	3 rd group index more than 0.2
1	2	3	4
Number of enterprises	61	39	5
Area, ha	7556	11903	3872
Average area per 1 enterprise, ha	124	305	774
Production, thsnds c	2130.2	11587.5	6161.0

Continuation of Table 2

1	2	3	4
Yield, c/ha	28	97	159
Specialization level, %	10.7	42.7	80.2
Market share, %	11.39	49.58	39.02
Production costs, UAH/c	681.15	349.24	202.46
Total costs, UAH/c	759.29	385.15	214.17
Price, UAH/c	745.92	569.95	673.43
Profitability level, %	-1.8	48.0	214.4

Note: * It is calculated by authors.

It is determined that the first group of wine-growing enterprises (an integral index value is more than 0.2) includes five highly specialized farms, the second group consists of 39 enterprises (an index value from 0 to 0.2) and the third group (index less than zero) has 61 farms. Increase of the integral index leads to increase of the average area of vineyards per enterprise and its yield. An increase in the level of intensification leads to a decrease in the cost of production, resulting in an increase in the profitability ratio and the level of profitability. The price of sold grapes by groups fluctuates and has no direct dependence on the estimated index. This is explained by the fact that this index depends more on the ability to bring the products to the consumer than on the production indexes.

In the research the main directions of enterprises development depending on the level of the integral index are determined. It is advisable to focus on diversification for companies belonging to the group with index less than zero, since grape production is not their main activity for them (the level of specialization is 10.7%). Producers with an integral index in the range from 0 to 0.2 are encouraged to focus on intensifying and increasing the production of table grapes, which will increase economic efficiency due to the scale effect. Business entities with high level of index are advised to improve production technologies, apply its modern methods, which will ensure the competitiveness of enterprises.

As a result of the research, the project indexes of the grape production development in the farms of Kherson region were determined (table 3).

Table 3. Project indexes of the grape production development in the farms of Kherson region*

Indexes	Real value, 2017	Estimated value, 2025	Total in 2025	2025 to 2017, %
Number of enterprises	11	+6	17	154.5
including of cooperatives creation	—	+6	x	x
Area of vineyards, ha	3330	+1200	4530	136.0
Yield, t/ha	8.67	+1.33	10	115.3
Grape production volume, thsnds t	28.91	+12.0	40.91	14.15

Note: * It is calculated by authors [11].

For Kherson region formation of one agricultural servicing cooperative for three administrative districts could be an economically sound solution. Taking in account that one such cooperative will have 200 hectares, the area of vineyards will increase by 1200 hectares per Kherson region. The use of modern growing technologies will increase grape yields by 13.3%, which will increase the volume of production in the region by 12 thousand tones. Implementation of such project will increase

the area of vineyards to 4530 hectares, the grape yield — to 100 t/ha and the production volume — to 40.91 thousands tones.

One of the most important problems of the viticulture development in agricultural enterprises is its considerable capital intensity, which indicates the need for investments for starting this type of business. According to the results of the researches, an investment project of the vineyards creation was developed, the main indexes of which are presented in table 4.

*Table 4. Performance indexes of the investment project of vineyard creation per 1 ha**

Indexes	Unit	Value
Total investments	thsnds UAH	452.2
The volume of investments to start a project	thsnds UAH	246.6
Project payback period — PP	months	96
Net present value of cash flow — NPV	thsnds UAH	222.6
Internal rate of return — IRR	%	2.84
Revenue for the period	thsnds UAH	497.8
EBITDA for the period	thsnds UAH	96.32

Note: * It is calculated by authors.

According to calculations, the need for investment per hectare is 246.6 thousand UAH, of which 88.9 thousand UAH for the purchase of seedlings. According to the proposed production program, the level of purchase prices and inflation, the pay-back period will be 8 years after the planting of vineyards. Therefore, such project is potentially attractive to agricultural producers.

State support has very big influence for the development of viticulture. It is focused on the intensification with new plantings use, which will improve the situation in the industry (fig. 2).

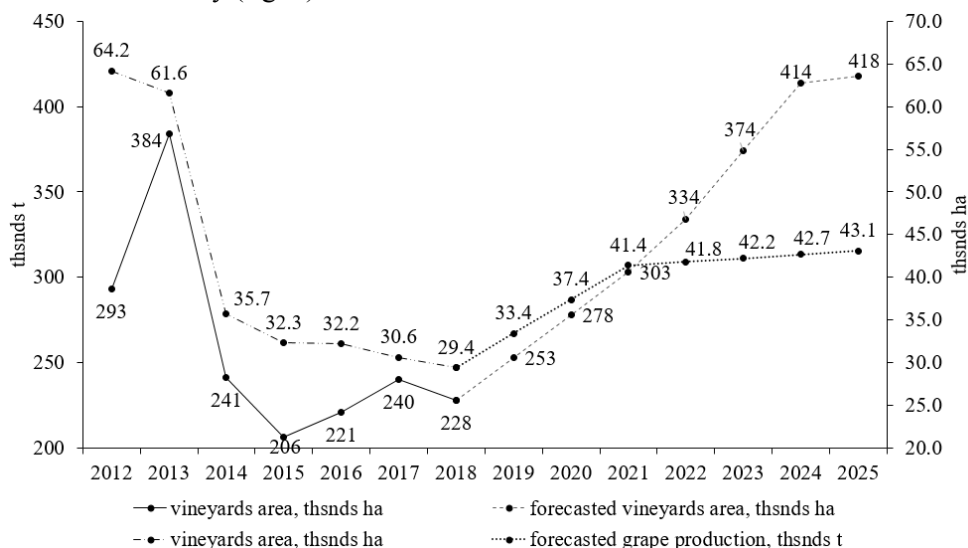


Fig. 2. The forecast for grape production development in agricultural enterprises of Ukraine, it is calculated by authors with the use of the data of State Statistics Service of Ukraine[10; 11; 14]

To achieve the projected indexes and for practical implementation of the developed proposals, considerable amounts of investments are needed, some of which can be provided through the state program to support the development of horticulture and viticulture [9; 13] (table 5).

*Table 5. Investment support for new vineyards in agricultural enterprises **

Indexes	Till 2025		Till 2030	
	Southern regions of Ukraine	including Kherson region	Southern regions of Ukraine	including Kherson region
Number of enterprises	97	11	97	11
Area of new vineyards, thsnds ha, total	13.7	1.8	15.9	2.1
- in average for 1 enterprise, ha	141.2	163.6	163.9	190.9
Increase of production volume, thousand tons, total	190.0	24.7	225.0	29.3
- in average for 1 enterprise, ha	2.0	2.2	2.3	2.7
Investment need, mln UAH, total	3425.0	445.3	3975.0	516.8
- in average for 1 enterprise, ha	35.3	40.5	41.0	47.0
of which by the state program of horticulture and viticulture support	959.0	124.7	1113.0	144.7
- in average for 1 enterprise, ha	9.9	11.3	11.5	13.2
Payback period, years**	8	7	8	7

Note: * It is calculated by the authors. ** The payback period is calculated based on a steady investment volume per hectare of vineyard and without inflation.

It is suggested to calculate the prospects for the development of grape production in agricultural enterprises in two stages: for the period up to 2025 and from 2025 to 2030. The main task of the first stage is to ensure import substitution as the main development direction. On the second stage — a 10% increase in the level of loading of production facilities of processing enterprises.

Implementation of the project measures will increase the area of vineyards by 13.7 thousand hectares, production volume — by 190 thousand tons till 2025. It requires about 3.4 billion UAH, of which 959 million UAH can be attracted through the state program for gardening and viticulture support. At the same time, 1.8 thousand hectares will be started in Kherson region, which will allow to increase production volume by 24.7 thousand tons. The need for investments will be 445.3 million UAH, of which 124.7 million UAH — due to the state program for gardening and viticulture support. Estimated payback period for investments is 8 years in Ukraine and 7 years in Kherson region due to the comparatively better grape yield in the region.

At the second stage (after 2025), the main focus in viticulture should be on increasing the utilization of processing capacities. On the one hand, it will reduce the cost of processing, on the other — diversify the range of products offered on the market. In general, the implementation of the proposed recommendations will positively influence the formation of the supply and will stimulate the interest of agricultural enterprises to expand production.

According to calculations in the enterprises of southern Ukraine, the area of vineyards will grow by 15.9 thousand hectares, which will increase production volumes by 225.0 thousand tons. For practical implementation of the program of development of viticulture it is necessary to attract almost 4 billion UAH, of which 1.1 billion UAH could be covered by state support programs.

Conclusions

Therefore, the results of the research indicate that the development of grape production provides an economic and social effect. It is presented by improving the performances of economic entities and creating new jobs with competitive wages. At the same time, the task is to work out clearly the organizational and economic basis to achieve the planned indexes. With the economic boom in the research business area, the volume of payments to budgets of different levels will increase. That is, the implementation of the proposed recommendations to ensure the effective development of grape production in agricultural enterprises of southern Ukraine will have a synergistic effect at different levels. Optimization of producers, consumers and state institutions interests will become a necessary basis for ensuring sustainable development of viticulture in the enterprises of southern regions of Ukraine.

References

1. Avlasenko O. A. Modern trends of viticulture development in Ukraine and its regions. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3128>.
2. Belous I. V. Strategy of viticulture and winemaking development in Ukraine and prerequisites for their production on the world market. Odesa, 2015.
3. Grape Cadaster of Ukraine. URL: <http://eurowine.com.ua/tmp/kadastr/index.php>.
4. Vlasov V., Jaburia L., Belous I. The viticulture needs transformation. Supply, 2014. Special issue. P. 6—9.
5. Sectoral Program for the Viticulture and Viticulture Development in Ukraine for the period up to 2025. URL: <http://minagro.gov.ua/node/14023>.
6. Garkusha O. M. Effective viticulture and winemaking subcomplex formation in Ukraine. Mykolaiv, 2001. 281 p.
7. SSTU 2301:2015 “Viticulture. Terms and definitions”. Kyiv, 2017. III, 24 p.
8. Law of Ukraine “About grapes and grape wine” from June, 16, 2005. №2662-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2662-15>.
9. Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine No. 151 approved from 20.03.2018 “On approval of norms for compensation in viticulture, horticulture and hop production, forms of reports and list of equipment, mechanisms and equipment”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0373-18#>
10. Grape processing and wine materials production in 2015—2017. Stat. bulletins. State Statistics Service of Ukraine.
11. Areas, gross harvests and yields of crops, fruits, berries and grapes in 2011—2017. Stat. bulletins. State Statistics Service of Ukraine.
12. Popova M. M. The current state of viticulture and winemaking in Ukraine and the role of its individual regions in the development of the industry. URL: http://www.business-inform.net/pdf/2014/7_0/136_142.pdf.
13. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from July 15, 2005. No. 587 “On approving the procedure for using the funds provided in the state budget for the development of viticulture, horticulture and hops”. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/587-2005-%D0%BF>
14. Agriculture of Ukraine. 2011—2017. Stat. Bulletin. State Statistics Service of Ukraine.

FACTORS AND PROBLEMS AFFECTING THE DEVELOPMENT OF THE MODERN PERSONALITY'S BUSINESS CAREER

K. Kurchenko, D. Hryshchenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Career
Job satisfaction
Qualification
Motivation
Competition
Socialization
Professional
competencies*

Article history:

Received 09.04.2020
Received in revised form
21.04.2020
Accepted 20.05.2020

Corresponding author:

D. Hryshchenko
E-mail:
diana.gr.tg@gmail.com

ABSTRACT

Ukraine's integration into the international competitive space has determined the importance of the problem of business career management as the main problem of its development. Effective business career management emphasizes the importance of deepening knowledge about the dynamics of business career development and the factors and problems that affect it.

The objects of the research are theoretical and practical aspects of business career management. The methods of descriptive and problem-thematic were used in the course of the research. The article describes the essential characteristics of business career management, also the factors that influence its development. The main problems of career growth of employees have been identified. The influence of certain levels of factors on the development of a business career has been studied. The dynamics of business career development and the basic needs of the individual at each stage of career advancement are analyzed. The influence of a person's personal development on his career achievements has been studied. The factors of successful choice of profession are given.

The results of the study showed that business career does not begin from the moment of obtaining a certain position, but from the moment of professional choice of the field that is suitable for the application of their abilities and capabilities. Therefore, it is important to make the right professional choice, the ability to systematically improve professional competencies in a particular field of activity.

It was also investigated that the management of a business career, in particular the delineation of specific factors influencing the career attitudes and intentions of a person, play an important role in his work. Therefore, to ensure the professional growth of employees and to meet the interests of each party to the employment relationship, it is necessary to develop an effective strategy for managing a business career in the company, taking into account the factors influencing its development.

ФАКТОРИ І ПРОБЛЕМИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗВИТОК ДІЛОВОЇ КАР'ЄРИ СУЧАСНОЇ ОСОБИСТОСТІ

К. М. Курченко, Д. Г. Грищенко

Національний університет харчових технологій

Інтеграція України в міжнародний конкурентний простір обумовила значимість управління діловою кар'єрою як основної проблеми його розвитку. Ефективне управління діловою кар'єрою передбачає поглиблення знань про динаміку розвитку ділової кар'єри, визначення факторів і проблем, що впливають на нього.

У статті досліджено теоретичні та практичні аспекти управління діловою кар'єрою. В ході дослідження використано описові та проблемно-тематичні методи.

Охарактеризовано управління діловою кар'єрою, зокрема визначено чинники, які впливають на її розвиток, та основні проблеми кар'єрного зростання працівників. Досліджено вплив окремих рівнів факторів на розвиток ділової кар'єри, вплив особистісного розвитку людини на її кар'єрні досягнення. Проаналізовано динаміку розвитку ділової кар'єри та основні потреби індивіда на кожному етапі кар'єрного просування. Наведені фактори успішного вибору професії.

Результати дослідження показали, що ділова кар'єра починається не з моменту отримання певної посади, а з моменту професійного вибору сфери, яка підходить для застосування своїх здібностей і можливостей, а тому важливим є правильний професійний вибір, здатність до системного вдосконалення професійних компетенцій у тій чи іншій галузі діяльності.

Також досліджено управління діловою кар'єрою, зокрема окреслено конкретні фактори впливу на кар'єрні установки і наміри людини, що виконують важливі функції в її трудовій діяльності. Для забезпечення професійного зростання працівників і для задоволення інтересів кожної із сторін трудових відносин необхідно розробити ефективну стратегію управління діловою кар'єрою на підприємстві, враховуючи фактори впливу на її розвиток.

Ключові слова: кар'єра, задоволеність працею, кваліфікація, мотивація, конкуренція, соціалізація, професійні компетенції

Постановка проблеми. Активне входження України у міжнародний конкурентний простір, прискорення глобалізаційних процесів, рух у напрямі євроінтеграції та включення у світову економіку підкреслили значимість проблеми управління діловою кар'єрою та розвитком конкурентоспроможності персоналу як основних чинників підвищення ефективності діяльності будь-якого підприємства.

Розвиток ділової кар'єри сучасної особистості здійснюється в умовах інтенсивної інформатизації й технологізації економічних відносин. Досить часто

майбутні спеціалісти недостатньо володіють можливістю окреслення шляхів подальшого розвитку власного професійного майбутнього, існують проблеми щодо застосування новітніх технологій посадового і професійного, зростання, навичок їхніх реалізації у практичній діяльності. Зважаючи на це, специфічного змісту набуває необхідність формування у них уявлень про фактори та перспективи власної ділової кар'єри в сучасних економічних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі з управління персоналом багато вітчизняних і зарубіжних праць присвячено кар'єрі як з позицій просування людини у трудовій діяльності, так і як способу її самореалізації. Різні аспекти цієї проблеми досліджували такі вчені: Н. М. Глевацька, В. М. Данюк, М. В. Семикіна, О. А. Грішнова, Л. П. Крисін, Д. Сьюпер, Р. А. Фатхутдінов.

Мета статті: аналіз динаміки розвитку ділової кар'єри та дослідження факторів і проблем, що впливають на її розвиток.

Викладення основних результатів дослідження. Істотною проблемою розвитку ділової кар'єри майбутніх фахівців передусім є невисокий рівень їхньої професійної активності [2], зокрема: відсутність достатнього рівня знань про суть економічних відносин, ідеалістичні уявлення про майбутню професію, неготовність до конкуренції, відсутність зацікавленості до обраної сфери діяльності, чітких перспектив професійного майбутнього, невідповідна оцінка власних можливостей при здійсненні професійної діяльності, низька професійна активність, недостатнє розуміння особливостей управлінської роботи, брак чітких і узагальнених цілей, розмиті особистісні цінності, невміння керувати собою, низька здатність сформувати колектив, відсутність саморозвитку, невміння навчати інших, невміння вирішувати проблеми, відсутність впливу на людей, слабкі навички керівництва.

Усі ці проблеми підкреслюють важливість формування чітких уявлень про умови професійного розвитку кар'єри у молодих фахівців і системного удосконалення ними набутих знань і умінь для успішного кар'єрного зростання.

Ділова кар'єра є наслідком взаємовпливу трьох груп факторів:

1. Сама людина. Кожен індивід у поєднанні своїх професійних і особистісних якостей є унікальним. Набуті знання, вміння, здібності людини, а також особисті якості та досвід, які є необхідними для виконання певного виду діяльності, визначають рівень її професійної компетенції. Серед особистісних якостей найбільш важливі психологічні установки, характер, темперамент, емоційно-вольова сфера.

2. Професійний осередок. Професійна діяльність насамперед повинна задовольняти матеріальні потреби людини. Вона відкриває для працюючих широкі можливості для реалізації їхніх потреб на всіх рівнях. Наприклад, у країнах, де розвинена економіка, у більшості населення задоволені потреби нижчого рівня, для країн з перехідною економікою, незважаючи на певні зрушення, питання задоволення матеріальних потреб все ще залишається актуальним.

3. Позаробоче середовище. Місце, де індивід проживає та відпочиває. Людина живе не тільки роботою: для багатьох робота — це засіб отримання коштів, необхідних для забезпечення сім'ї, цікавого дозвілля, підтримання стану здоро-

в'я і всього того, що приносить людині радість і задоволення від життя поза роботою. Досить часто, особливо для жінок, серед факторів цієї групи найперше місце займають сімейні стосунки. Вплив сім'ї на розвиток ділової кар'єри можуть бути прямо протилежним — від категоричної відмови побудови кар'єри заради блага близьких до повної відмови створювати родину, якщо родинні обов'язки загрожуватимуть зростанню ділової кар'єри.

Вищезазначені фактори також знаходять відгук у наукових працях лабораторії організаційної психології Інституту психології ім. Г. С. Костюка АПН України, яка у межах соціально-психологічного напрямку дослідження ділової кар'єри вважає доцільним виділення трьох рівнів факторів, що впливають на розвиток ділової кар'єри [5]:

1. Мікрорівень — це фактори, пов'язані безпосередньо з особистістю (мотивація, прийняття рішень щодо зміни ролей, проблеми професійної соціалізації, яку проходить робітник). Чинниками мікрорівня, що чинять опір при досягненні кар'єрного успіху, є перш за все недостатність «особистісного потенціалу» — низький рівень мотивації, нерішучість, емоційна нестабільність і неконструктивні установки щодо досягнень (уникнення ризику, «страх успіху», невдач, нереалістичність цілей, спрямованість на себе, а не на завдання та його результат).

2. Мезорівень — це фактори, що мають тісний зв'язок з організаційним середовищем і вимогами особистості, впливом сторонніх осіб на професійне зростання людини (планування сім'ї, співвідношення її інтересів з інтересами роботи, зміни керівництва в компанії).

3. Макрорівень — це фактори, які віддзеркалюють зовнішні інституціональні впливи, такі як особливості ринку праці, приналежність до національної субкультури тощо. Макрорівень складається із групи трьох факторів: соціально-політичних, до яких відносять світову політику, політику держави; соціально-економічних; соціальних, які відображають соціальну політику держави, охорону здоров'я, задовільні житлові умови.

Наукові дослідження в галузі управління діловою кар'єрою дали можливість визначити три стадії її розвитку: ранню, середню і зрілу.

Залежно від поставлених перед людиною цілей розрізняють кілька етапів її кар'єроорієнтованого розвитку (табл. 1).

Таблиця. Динаміка розвитку ділової кар'єри

Етап кар'єри	Потреби досягнення мети	Моральні потреби	Фізіологічні і матеріальні потреби
1	2	3	4
Попередній (до 25 р.)	Освіта, кар'єрні проби на різних роботах	Початок самоствердження	Безпека існування
Становлення (25—30 р.)	Освоєння навичок роботи, їх розвиток; формування кваліфікованого фахівця або керівника	Самоствердження, початок досягнення незалежності	Безпека існування, здоров'я, нормальний рівень оплати праці

Продовження таблиці

1	2	3	4
Просування (30—45 р.)	Просування по службових сходах, оволодіння новими навичками і досвідом, підвищення кваліфікації	Зростання самоствердження, досягнення більшої незалежності, початок самовираження	Здоров'я, високий рівень оплати праці
Збереження (45—60 р.)	Пік удосконалення кваліфікації фахівця чи керівника. Навчання молоді	Стабілізація незалежності, зростання самовираження, початок поваги.	Підвищення рівня оплати праці, інтерес до інших джерел доходу
Завершення (60—65 р.)	Підготовка до виходу на пенсію. Пошуки нового виду діяльності і заміни собі на роботі	Стабілізація самовираження, зростання поваги	Збереження рівня оплати праці і підвищення інтересу до інших джерел доходу
Пенсійний (після 65р.)	Заняття новим видом діяльності	Самовираження у новій сфері діяльності, стабілізація поваги	Розмір пенсії, інші джерела доходу, здоров'я

Примітка: Складено авторами на основі [1].

Вираження ранньої стадії ділової кар'єри полягає у з'ясуванні працівником рівня своїх професійних здібностей, вимог компанії та перспектив його розвитку. Для індивіда важливим є проявлення свого професіоналізму, майстерності. На середній стадії людина прагне самостійності у роботі, вона ефективніше виконує свою роботу, прагне максимально самореалізуватися.

Зріла стадія характеризується креативною самоактуалізацією, особистісно-творчою зрілістю. Під час неї спостерігаються прагнення працівника досягнути максимальних результатів і вдосконалити свою майстерність. Також з'являється потреба працювати продуктивніше, іти на ризики, розвивати власний творчий потенціал, щоб підвищити рівень професійної конкурентоспроможності та зберегти свій запит на ринку праці.

Посилення конкуренції на сучасному ринку праці підвищує роль планування ділової кар'єри. Кар'єрний розвиток розглядається як процес поетапного досягнення мети з урахуванням людського фактора. Планування ділової кар'єри потребує з'ясування ставлення людини до власного саморозвитку, загального емоційного настрою, адже те, що вкладається в поняття кар'єри, її цілі і мотиви дуже складно, а може й неможливо сприйняти.

При цьому особливого значення набуває рівень власної мотивації, який залежить від прагнень людини до вирішення професійних завдань шляхом активізації її вольової сфери. Психологічними чинниками у мотиваційному процесі, які визначають прийняття рішення щодо кар'єрного зростання можуть виступати: моральний контроль, здібності, схильності, зовнішня ситуація тощо.

Рівень особистісного розвитку людини має прямий вплив на її кар'єрні досягнення. Велику роль у цьому відіграють такі аспекти [2]:

- кваліфікація — рівень підготовки до певного виду діяльності;

- мотивація — як керівництво до дій, і як самомотивація, яка безпосередньо пов'язана з ключовими цінностями особи і не завжди стосується дійсних реалій організації;

- соціалізація — пов'язана передусім з неформальною культурою організації (неофіційними ритуалами і правилами), яка може стати своєрідним бар'єром для особистісного розвитку працівника;

- реалізація безпосередньо пов'язана із соціалізацією, зокрема зі сприйняттям неформальної культури, поведінкою у колективі тощо.

Наведена сукупність аспектів відіграє важливу роль при кар'єрному зростанні особистості, що, у свою чергу, можуть чинити йому опір або, навпаки, спровокувати його стрімке зростання.

Також не можна оминати такий важливий фактор кар'єро-орієнтованого розвитку індивіда, як задоволеність роботою. Він є важливою складовою повного задоволення життям. Людину в організації можуть влаштовувати одні аспекти її роботи і не влаштовувати інші. Наприклад, це може стосуватися умов праці. Визначальним же фактором, який свідчить про ступінь задоволення працею, є бажання і потреби індивіда на шляху свого особистісного розвитку. Позитивні тенденції кар'єроорієнтованого розвитку особистості підвищують рівень мотивації людини, її самооцінку, а також відданість справі.

Запорукою успішної ділової кар'єри є правильний вибір професії. Вирішення цієї проблеми базується на основі та аналізі факторів успішного вибору професії:

- необхідно гарно знати світ професій і вимог, які пред'являються людині, що виконує певну роботу. Уточнити для себе формулу обраної професії, враховуючи можливі запасні варіанти вибору;

- чітко визначити свої схильності та інтереси, оцінивши свій стан здоров'я, здібності, можливості відповідно до вимог обраної професії;

- дослідити ринок праці, його особливості та потреби;

- спиратися на реальні можливості отримання освіти, перенавчання та підвищення кваліфікації. Тільки після цього можна буде виокремити для себе декілька професій і згодом із них обрати єдину, намітити власний професійний маршрут та індивідуальний шлях у досягненні поставлених цілей.

Дотримання такої стратегії допоможе індивіду правильно обрати майбутню професію, досягти кар'єрного зростання і в майбутньому успішно реалізувати його ділову кар'єру.

Висновки

Аналізуючи вищезазначене, можна зробити висновки, що окреслення конкретних факторів впливу на кар'єрні установки і наміри людини у розвитку ділової кар'єри є важливим у її професійній діяльності. Такий підхід корисний не тільки для організації, яка зацікавлена у плануванні ефективної стратегії управління діловою кар'єрою і професійним розвитком своїх працівників, а й для працівника, який розвивається. Інакше кажучи, необхідно

регулювати відносини співробітників і організації для задоволення інтересів усіх учасників ділових відносин.

Розглядаючи ділову кар'єру як процес поступового досягнення мети з урахуванням людського фактора, необхідно перед її плануванням з'ясувати ставлення людини до кар'єри, її загальний емоційний настрій, цілі та мету, визначити рівень мотивації до професійного зростання, який залежить від спонукання людини до виконання робочих завдань шляхом активізації вольової сфери. Психологічними чинниками, що в окремому мотиваційному процесі визначають прийняття відповідного рішення, виступають: здібності, схильності, моральний контроль, зовнішня ситуація тощо. Варто враховувати те, що ділова кар'єра починається не з моменту отримання певної посади, а з моменту професійного вибору сфери, яка підходить для застосування своїх здатностей і можливостей. А тому важливим у цьому є правильний професійний вибір, здатність до системного вдосконалення професійних компетенцій у тій чи іншій галузі діяльності.

Література

1. Коломієць Ю. В., Фомова О. А. Сучасні тенденції управління діловою кар'єрою персоналу. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: економічні науки*. 2014. № 3, т. 2. С. 86—89.
2. Лозовецька В. Т. Фактори та проблеми, що впливають на кар'єрний розвиток сучасної особистості. *Молодь і ринок*. Дрогобич: 2019. Вип. 9. С. 44—50.
3. Мішина С. В., Мішин Ю. О. Економічна сутність поняття «кар'єра». *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2014. № 47. С. 155—159.
4. Мішина С. В., Мішин О. Ю. Формування системи управління діловою кар'єрою на засадах логістичного підходу. *Ефективна економіка*. 2019. URL: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/2_2019/36.pdf (дата звернення 19.02.2020).
5. Тангел А. А. Психологічні особливості кар'єри особистості. *Вісник Національного університету оборони України*. 2015. Вип. 1. С. 212—217.
6. Шильнікова З. М. Управління діловою кар'єрою персоналу організацій у сучасних умовах. *Інфраструктура ринку*. 2019. Вип. 28. С. 238—243.
7. Янковська С. Кар'єра персоналу як об'єкт управління. *Тенденції та перспективи розвитку економіки, підприємництва, торгівлі та біржової діяльності в умовах глобалізації*. Матеріали наук.-практ. конф. 2019. С. 594—598.

PROSPECTS OF THE USE OF FUEL FROM MUNICIPAL SOLID WASTE AT TPP OF SUGAR FACTORIES

O. Bulyandra

National University of Food Technologies

L. Haponych, I. Golenko, O. Topal

Institute of Coal Energy Technologies of NAS of Ukraine

Key words:

Municipal solid waste

Solid recovered fuel

Morphological

composition

Waste-to-Energy

Heat of combustion

Sugar factory

Article history:

Received 16.04.2020

Received in revised form
30.04.2020

Accepted 18.05.2020

Corresponding author:

L. Haponych

E-mail:

haponych@ukr.net

ABSTRACT

The problem of municipal solid waste (MSW) management is a worldwide concern. The purpose of this investigation was to study the current state of MSW management and estimate the prospects for their energy use in Ukraine. The volume of MSW collection during the recent years in Ukraine reached 11—12 million tons. In 2019, only 5.6% of MSW was recycled and utilized, of which only 1.7% was burned with energy generation (WtoE). For comparison, 98% of MSW in EU countries is processed, and 28% is incinerated by the WtoE technology.

In this article, the morphological composition is shown and the elemental composition and heat of combustion of the MSW of Ukraine and its different cities are calculated. The MSW heat of combustion for cities of Ukraine is 5.0—7.0 MJ/kg. The lower limiting value of the MSW heat of combustion with electricity generation is 6 MJ/kg. The average value of MSW heat of combustion utilized at WtoE plants is 10 MJ/kg.

Different technologies of the thermal processing of waste were also analyzed. The main tendency for MSW management in EU countries lies in their complex processing: separate collection, sorting, mechanical and biological processing, and the production of fuel from the remaining MSW fractions. The article summarizes information on the experience of production and use of MSW fuels RDF and SRF in the world. Our calculations show that Ukraine has potential for producing 2—3 million tons of RDF/SRF fuels with heat of combustion of 10—15 MJ/kg annually. By attracting these fuels into the energy sector, about 1500 GWh of electricity and 3000 GWh of heat can be obtained annually. The potential for replacement of natural gas is more than 0.6 billion m³.

The use of RDF/SRF at combined heat and power plants (TPPs) of sugar factories is able to replace partially Ukraine's scarce natural gas and coal in electricity and heat production according to the EU waste management requirements. In addition, the use of RDF/SRF as fuel at the TPPs of sugar factories can ensure their continuous operation throughout the year.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА З ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ТЕЦ ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ

О. Буляндра

Національний університет харчових технологій

Л. Гапонич, І. Голенко, О. Топал

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України

У статті вивчено сучасний стан поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) та оцінено перспективи енергетичного використання в Україні, оскільки проблема раціонального поводження з ТПВ є актуальною в усьому світі. В Україні обсяги збирання ТПВ в останні роки сягають 11–12 млн тонн. У 2019 р. було перероблено й утилізовано всього 5,6% ТПВ, з них тільки 1,7% спалено з генерацією енергії (WtoE). Для порівняння: в країнах ЄС 98% ТПВ обробляється, 28% спалюється за технологією WtoE.

Визначено морфологічний склад, розраховано елементний склад і теплоту згорання ТПВ. Теплота згорання ТПВ для міст України становить 5,0–7,0 МДж/кг. Найнижче граничне значення теплоти згорання ТПВ для спалювання з генерацією електроенергії — 6 МДж/кг. Середнє значення теплоти згорання ТПВ, що утилізуються на заводах WtoE, — 10 МДж/кг.

Проаналізовано різні технології термічної переробки відходів. Основна тенденція в країнах ЄС полягає у комплексній переробці ТПВ: роздільному збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці та виробництві палива з фракцій ТПВ, що залишилися. Узагальнено інформацію щодо досвіду виробництва і використання палив з ТПВ — RDF та SRF. Розрахунки показують, що в Україні є потенціал для виробництва 2–3 млн тонн RDF/SRF з теплою згорання 10–15 МДж/кг щорічно. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1500 ГВт·год електрики та 3000 ГВт·год теплоти. Потенціал заміщення природного газу при цьому понад 0,6 млрд м³.

Використання на ТЕЦ цукрових заводів як палива RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитні в Україні природний газ і вугілля при виробництві електроенергії й теплоти з дотриманням вимог ЄС щодо поводження з відходами. Крім того, використання RDF/SRF на ТЕЦ цукрових заводів може забезпечити їхню безперервну роботу протягом всього року.

Ключові слова: тверді побутові відходи, тверде відновлюване паливо, морфологічний склад, теплота згорання, відходи в енергію, цукровий завод.

Постановка проблеми. Верховна Рада України 07.02.2018 ухвалила зміни до Конституції України щодо стратегічного курсу на набуття повноправного членства в Європейському Союзі (ЄС) та в Організації Північноатлантичного договору [1], якими було підтверджено незворотність європейського курсу країни. Асоціація між Україною і ЄС неможлива без імплементації європейського законодавства у сфері охорони навколишнього середовища, зокрема поводження з відходами. Важливим етапом імплементації вимог директив ЄС у сфері поводження з відходами є розробка та схвалення розпорядженням Кабінету Міністрів України № 820-р від 8 листопада 2017 р. Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. (далі Стратегія), що визначає урядову

політику у сфері поводження з відходами. Завданням Стратегії є очищення навколишнього середовища та зменшення відходів, в тому числі твердих побутових відходів (ТПВ), що надходять до полігонів. Пріоритетний напрямок діяльності — це перетворення відходів на ресурси і зниження обсягів їх утворення. Стратегією передбачено зменшення обсягу захоронення ТПВ до 80% у 2018 р., до 50% — у 2023 р. та 30% — у 2030 р. Відповідно до Директиви № 1999/31/ЄС до 2030 р. передбачається зменшення кількості місць для видалення побутових відходів з 6000 до 1000 та будівництво 19 стаціонарних установок із термічної утилізації відходів.

Метою дослідження є вивчення сучасного стану поводження з твердими побутовими відходами та оцінка перспектив їх енергетичного використання в Україні.

Викладення основних результатів дослідження. Основним документом, який встановлює класифікацію відходів в Україні, є Державний класифікатор відходів ДК 005-96, де відходи визначаються як будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення, власник яких позбувається, має намір або повинен позбутися їх шляхом утилізації чи видалення. ТПВ — це відходи, які утворюються в процесі життєдіяльності людини, накопичуються в житлових будинках і закладах соціальної сфери та є непридатними до подальшого використання за місцем їх утворення. Кількісні та якісні характеристики ТПВ не є постійними та залежать від країни, регіону, області, міста чи селища їх утворення. Однак перелік основних компонентів ТПВ в є цілому незмінним і включає [2; 3]: матеріали біологічного походження — харчові відходи, рештки рослинності, папір; потенційну вторинну сировину — папір, метали, скляну та пластикову тару тощо; інертні матеріали — каміння, кераміку, пісок, цеглу, бруд тощо; композиційні матеріали — синтетичний текстиль, пластмаси, електроприлади; небезпечні матеріали — аерозолі, фарби, добрива, інші хімікати.

Усереднений морфологічний склад ТПВ згідно із Шостим національним повідомленням України з питань зміни клімату такий: харчові відходи — від 35 до 50%, папір та картон — від 10 до 15%, вторинні полімери (пластмаса, ПЕТФ пляшки, полімерна плівка, ТетраПак упаковка) — від 9 до 13%, скло — від 8 до 10%, чорні та кольорові метали — 2%, текстильні матеріали — від 4 до 6%, деревина — 1%, будівельне сміття — 5%, інші відходи (вуличний змій, листя, гігієнічні засоби, кістки, шкіра, гума, комбіновані відходи, небезпечні відходи тощо) — 10%. Частка відходів з органічною складовою — від 60 до 85%.

Для великих міст України середній морфологічний склад ТПВ такий: харчові відходи — від 30 до 45%, картон та папір — від 5 до 15%, вторинні полімери — від 8 до 17%, скло — від 9 до 14%, чорні та кольорові метали від 0,5 до 2,5%, текстильні матеріали від 2 до 5%, деревина від 0,1 до 2%, кістки, шкіра, гума від 0,5 до 1,5%; дрібні будівельні відходи — від 0,3 до 3,5%; вуличний змій, листя — від 0 до 6%; гігієнічні засоби — від 2,3 до 3,5%; комбіновані відходи — від 0,4 до 1%; небезпечні відходи — від 0,1 до 0,5%, інше від 2 до 22%. Морфологічний склад ТПВ суттєво змінюється протягом року, влітку та восени збільшується частка органічних відходів, взимку — неорганічної речовини.

У табл. 1 наведено елементний склад, вихід летких, густину і теплоту згорання змішаних ТПВ для різних міст та України в цілому. Елементний склад і вихід летких ТПВ розраховано за їхнім морфологічним складом для різних міст України та елементним складом компонентів ТПВ (табл. 2) [2; 4—7]. Елементний склад палива або його компонентів (на робочий стан) — це волога W^r , зола A^r , сірка S^r , вуглець C^r , водень H^r , кисень O^r та азот N^r . Нижча теплота згорання на робочий склад палива Q_i^r , МДж/кг, розрахована за формулою Менделєєва:

$$Q_i^r = 4,18(81C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r) - 6(9H^r + W^r)) \cdot 10^{-3}.$$

Для порівняння в табл. 1 також наведено інформацію про буре вугілля Кансько-Ачинського та Дніпровського басейнів. Теплота згорання необроблених ТПВ для міст України становить 5,0—7,0 МДж/кг, а утворених у країнах ЄС, Канаді, США — 7—15 МДж/кг [2; 4], тобто ТПВ — це паливо, яке можна порівняти за теплою згорання з бурим вугіллям.

Таблиця 1. Елементний склад і теплота згорання ТПВ різних міст України та України в цілому, бурого вугілля Кансько-Ачинського та Дніпровського басейнів

Країна або вугільний басейн	Елементний склад, %							Вихід летких, %	Q_i^r , МДж/кг
	C ^r	H ^r	O ^r	N ^r	S ^r	A ^r	W ^r		
Змішані ТПВ									
Україна	20,3	2,8	17,5	0,6	0,1	20,2	38,5	57,0	6,9
Вінниця	18,6	2,6	15,8	0,4	0,1	21,8	40,2	57,8	6,3
Київ	17,1	2,4	14,4	0,5	0,1	24,4	40,9	58,8	5,7
Львів	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	58,2	6,7
Миколаїв	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	56,7	6,7
Мелітополь	20,2	2,9	18,1	0,4	0,1	21,0	40,0	56,8	7,0
Полтава	16,5	2,3	13,6	0,6	0,1	25,4	41,3	51,5	5,5
Харків	18,3	2,6	16,5	0,5	0,1	22,7	38,8	58,9	6,1
Хмільник	18,8	2,7	18,4	0,3	0,1	24,8	34,4	58,6	6,3
Черкаси	20,3	2,8	15,5	0,6	0,2	18,7	41,3	63,5	7,0
Буре вугілля									
Кансько-Ачинський басейн	34,3	2,4	11,8	0,4	0,5	6,7	44,0	48,0	11,8
Дніпровський басейн	30,2	2,6	8,7	0,5	1,5	6,5	50,0	60,0	10,1

Таблиця 2. Елементний склад, вихід летких і теплота згорання складових ТПВ

Складова ТПВ	Елементний склад, %							Вихід летких, %	Q_i^r , МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	N^r	S^r	A^r	W^r		
Папір, картон	39,0	5,2	14,1	0,2	0,2	5,4	11,0	79,0	14,07
Пластмаса	55,1	7,6	24,4	0,9	0,3	10,6	8,0	79,0	24,40
Чорні та кольорові метали	0,8	0,04	0,2	0	0	96,0	3,0	—	0,21
Скло	0,7	0,03	0,2	0	0	97,2	2,0	—	0,19
Текстиль	49,3	5,9	19,5	4,2	0,1	2,2	10,0	74,3	19,48
Шкіра, гума	72,9	10,3	35,3	0	2,0	9,9	5,0	49,0	35,31
Дерево	35,5	4,8	13,0	0,1	0,04	0,8	30,0	67,9	13,04
Харчові відходи	12,6	1,8	3,5	1,0	0,2	4,5	72,0	65,2	3,45
Несортований залишок	15,9	2,4	4,9	0,05	0,05	24,0	40,0	44,0	4,90

За офіційною статистикою обсяги збирання ТПВ в Україні за останні роки сягають 11—12 млн т (50—60 млн м³) (табл. 3), хоча тільки 77—78% населення України охоплено послугами зі збирання та вивезення ТПВ. Треба зауважити, що офіційні статистичні дані є оціночними, тому що в Україні практично відсутня практика зважування ТПВ, облік ведеться в одиницях об'єму, а перерахунок в одиниці маси здійснюється через густину ТПВ 0,2—0,3 т/м³.

Таблиця 3. Поводження з ТПВ в Україні в 2014—2019 рр.

Рік	Обсяги збирання	Пункти вторинної сировини		Сміттєпереробні підприємства		Ділянки компостування	Сміттєспалювальні установки		Полігони	
	тис. т	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	тис. т	%	тис. т	%
2014	10748	142,3	1,3	73	0,7	0	149,5	1,4	10383,2	96,6
2015	11491,8	132,5	1,2	128,3	1,1	2,8	254,3	2,2	10973,9	95,5
2016	11562,6	126,6	1,1	143,8	1,2	1,6	256,7	2,2	11033,9	95,5
2017	11271,2	146,2	1,3	259,9	2,3	1	246,7	2,2	10617,4	94,2
2018	11857,2	146,5	1,2	260,1	2,2	1,6	208,1	1,8	11240,9	94,8
2019	11459,4	128,6	1,1	303,3	2,6	1,2	199,2	1,7	10827,1	94,6

Примітка: джерело — узагальнені дані Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України і Державної служби статистики України.

У 2019 р. в Україні перероблено й утилізовано всього 5,6% ТПВ, з них тільки 1,7% спалено, 3,7% потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні установки. Майже 95% зібраних і необроблених ТПВ в Україні складається на полігонах. Нагадуємо, що згідно зі Стратегією цей показник має бути менше 80%. Таке поведіння з ТПВ призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів і цінних матеріалів, які містяться у відходах. Роздільне збирання та перероблення відходів — це вагома складова підвищення ефективності використання природних ресурсів, в тому числі робіт зі зменшення споживання викопного палива на ТЕС і ТЕЦ.

В Україні працює тільки один сміттєспалювальний завод «Енергія» (м. Київ). У 2019 р. на ньому було спалено 198,4 тис. т ТПВ. Завод може виробляти 227 тис. Гкал теплової та до 50,7 млн кВт·год електричної енергії в рік. Крім того, експлуатується сміттєспалювальна установка в м. Люботин Харківської області та дві мобільні сміттєспалювальні установки в м. Харкові.

У Стратегії рівень термічної переробки ТПВ планувалося збільшити до 5% у 2018 р., 7% — у 2023 р. і до 10% — у 2030 р. Цих показників планувалося досягти завдяки будівництву 19 установок термічної утилізації ТПВ до 2030 р., включаючи 2 в 2018 році. Тобто сьогодні в Україні актуальним є завдання збільшення рівня переробки ТПВ, в тому числі термічної.

При термічній переробці ТПВ утворюється енергія, яка може бути використана для виробництва електроенергії й теплоти. Термін «відходи в енергію» («Waste-to-Energy» або WtoE) включає не тільки інсинерацію змішаного потоку ТПВ, а й отримання відновлюваного палива з побутових та/або промислових відходів — RDF (Refuse Derived Fuel), SRF (Solid Recovered Fuel) та біогазу з подальшою їх утилізацією на ТЕС, ТЕЦ або на цементних заводах. Викорис-

тання технології WtoE є одним з найбільш надійних та ефективних шляхів економії органічного палива й зменшення викидів парникових газів.

Інсинератор — це установка для утилізації різних типів відходів (в тому числі RDF/SRF) шляхом високотемпературного контрольованого спалювання з подальшим очищенням димових газів. Інсинерація дає змогу суттєво зменшити об'єм (на 90%) та масу (на 75%) ТПВ і вловлювати шкідливі речовини, які утворюються, та/або зменшувати їх викид. Для інсинерації найбільш широко застосовують три основні види термічної обробки відходів: спалювання — повне окислювальне згоряння (найбільш поширений процес); піроліз — термічну деструкцію органічного матеріалу за відсутності кисню; газифікацію — часткове окислення [2]. Для спалювання ТПВ застосовують такі технології: спалювання на решітках, включаючи зворотно-поступальну, рухому, ланцюгову, решітку, що охолоджується водою, обертові печі та спалювання в різних модифікаціях киплячого шару. Граничним значенням теплоти згоряння ТПВ для комерційної інсинерації є величина 6 МДж/кг.

У країнах Європи в останні роки збільшується частка ТПВ, що підлягає обробці. Так, у 2017 р. там було оброблено майже 98% ТПВ. Інсинерації, в тому числі з отриманням енергії, піддається 25% загального обсягу ТПВ, у країнах-членах ЄС — 28% загального обсягу ТПВ, при цьому цей показник щороку збільшується. Середнє значення теплоти згоряння ТПВ, що утилізуються на європейських заводах WtoE, — 10 МДж/кг. У країнах ЄС у 2013 р. працювало 939 установок термічної переробки відходів, з них 562 за технологією WtoE [4]. На 688 установках застосовувалося сумісне спалювання з вугіллям або біомасою. За даними Конфедерації європейських заводів «Відходи в енергію» (CEWER, Confederation of European Waste-to-Energy Plants) заводи з виробництва енергії з ТПВ в Європі можуть забезпечити електрикою 19 млн та теплою 16 млн мешканців. У 2016 р. на цих заводах було вироблено 40 млн кВт·год електроенергії та 93 млн кВт·год теплоти. Це дає змогу економити до 40—45 млн т викопного органічного палива і, крім того, запобігти викиду до 50 млн т на рік парникових газів (у перерахунку на CO₂), які могли б виділитися у вигляді CH₄ та CO₂ в разі складування цих відходів на полігоні або звалищі [4]. Найбільше технологію WtoE застосовують у Німеччині, Франції, Великій Британії, Італії, Нідерландах, Іспанії та Австрії. Сьогодні в усьому світі зростає кількість установок WtoE, в тому числі в Китаї, Південній Кореї, Індії та інших країнах, де до цього метод термічної утилізації ТПВ широко не застосовувався. Так, наприклад, у Китаї, де до 2000 р. заводів для спалювання ТПВ практично не було, у 2010 р. перероблялося з генерацією енергії вже понад 24 млн т відходів на рік [8]. Крім того, планується щорічний приріст таких потужностей (близько 4 млн тонн).

Концепція «Recovered» (відновлення) є ключовим елементом інтегрованого поводження з відходами. Перевагами цього підходу до переробки ТПВ є те, що відходи перетворюються на товарну продукцію, яка може накопичуватись, складуватись, транспортуватись. Refuse — в англomовних країнах це загальний термін для визначення твердих побутових і комерційних або промислових відходів. Термін RDF, зазвичай, відноситься до відокремленої висококалорійної

фракції перероблених ТПВ. Розроблено дві технології для відокремлення висококалорійної фракції ТПВ, яку можна використовувати як RDF: механіко-біологічне оброблення (МБО) ТПВ із отриманням RDF/SRF палив та/або біогазу і суха стабілізація [9]. МБО відходів об'єднує механічні (роздільне збирання, сортування за допомогою сит, барабанів, магнітів тощо, змішування, сушіння, подрібнення, пресування, гранулювання) і біологічні методи. Така сировина, як папір, скло, пластик і метал ідуть на переробку. Фракції ТПВ, що біологічно розкладаються, можуть бути відправлені на компостування й анаеробне зброджування. Всі інші фракції, а це близько третини ТПВ, є сировиною для твердого відновленого палива — RDF/SRF. При використанні технології сухої стабілізації залишкові відходи (без інертів і металів) піддаються біологічній обробці: ефективно сушаться і стабілізуються за допомогою процесу компостування. При цьому утворюється паливо з високою теплою згорання. Цей процес, розроблений у Німеччині, має торговельну назву «Trockenstabilat». Тобто RDF — це органічне паливо, отримане при видаленні вторинної сировини та негорючих матеріалів із ТПВ. Якісні характеристики RDF можуть варіюватися. Залежно від морфологічного складу ТПВ і технології виробництва може бути отримано паливо з різною теплою згорання (від 8 до 23 МДж/кг) у вигляді порошку або гранул різного розміру й густини.

Тверде відновлюване паливо (Solid Recovered Fuel, SRF) — це тверде паливо, отримане з безпечних відходів, в тому числі твердих побутових, промислових і комерційних відходів, включаючи папір, картон, дерево, текстиль і пластмасу, які можуть будуть використані для виробництва енергії в установках спалювання або спільного спалювання з вугіллям. SRF виробляється відповідно до класифікації та технічних характеристик, викладених у європейському стандарті EN 15359:2011 Solid Recovered Fuels — Specifications and Classes. Схема класифікації SRF використовує три основні параметри: теплоту згорання (економічну інформацію), концентрацію Cl (технічну інформацію) і Hg (екологічну інформацію) (табл. 4). Стандарт EN 15359:2011 прийнятий в Україні методом підтвердження на мові оригіналу (англійській) — «ДСТУ EN 15359:2018 Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT)».

Таблиця 4. Класифікація SRF згідно з EN 15359:2011

Класифікаційний параметр	Статистична міра	Одиниці вимірювання	Класи				
			1	2	3	4	5
Вища робоча теплота згорання	Середнє значення	МДж/кг	≥ 25,0	≥ 20,0	≥ 15,0	≥ 10,0	≥ 3,0
Хлор (Cl)	Середнє значення	% (на суху масу)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0
Ртуть (Hg)	Середнє значення	мг/МДж	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50

Кількість RDF/SRF, що виробляється з ТПВ, може змінюватись від 25 до 55% (за масою) залежно від країни, типу збирання, методів обробки та вимог до якості [9]. Виробництво RDF/SRF палив у світі щорічно збільшується. Так, у країнах ЄС у 2003 р. було вироблено близько 3 млн т RDF/SRF, у 2005 р. —

більше 5 млн т, а у 2017 р. вже 17,5 млн тонн. У 2015 р. близько 13,5 млн т RDF/SRF утилізовано на заводах WtoE, при спільному спалюванні з вугіллям при виробництві цементу та на ТЕС і ТЕЦ (як комунальних, так і промислових). Виробництво і споживання RDF/SRF найбільш розвинуто в Німеччині, Італії, Австрії, Великій Британії. Щорічний попит на RDF/SRF в країнах ЄС складає 53—63 млн тонн.

Наші розрахунки показують, що в Україні є потенціал для виробництва 2—3 млн т RDF/SRF з теплою згоряння 10—15 МДж/кг (3—4 класи згідно з EN 15359:201) щорічно. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1500 ГВт·год електрики та 3000 ГВт·год теплоти. Потенціал заміщення природного газу при цьому понад 0,6 млрд м³.

ТЕЦ 25 цукрових заводів, які працювали у виробничий сезон 2015 р. в Україні, споживали природний газ у кількості 214,4 млн м³, а ТЕЦ одного цукрового заводу споживала мазут [10]. ТЕЦ 11 цукрових заводів працювали з повною або частковою заміною природного газу. Було витрачено пелет — 15,6 тис. т, біогазу — 6,1 млн м³, торфу — 13,2 тис. т, кам'яного вугілля — 68,5 тис. тонн. Це дало змогу в цілому за сезон виробництва замінити альтернативними видами палива близько 100 млн м³ природного газу. Складова палива та енергії у вартості цукру складає — 27%. Сьогодні актуальним є продовження робіт на цукрових заводах України із заміщення природного газу та вугілля альтернативними видами палива. Крім того, в Україні, починаючи з 2014 р., спостерігається дефіцит вугілля всіх марок. Використання на ТЕЦ цукрових заводів як палива або добавки до основного палива RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитні в Україні природний газ і вугілля при виробництві електроенергії та теплоти з дотриманням вимог ЄС щодо поводження з відходами. Крім того, використання RDF/SRF як палива на ТЕЦ цукрових заводів може забезпечити їхню безперервну роботу протягом всього року. Але треба зазначити, що для використання RDF/SRF на ТЕЦ потрібно здійснити реконструкцію.

ТПВ та RDF/SRF є найбільш доступними і одними з найбільш економічно доцільних поновлюваних джерел енергії, що використовується в тепловій енергетиці. Так, вартість електроенергії на СЕС коливається від 230 до 550 євро/МВт·год, ВЕС — від 70 до 300 євро/МВт·год, ТЕС на біомасі — від 50 до 300 євро/МВт·год, геотермальні ТЕС — від 100 до 200 євро/МВт·год, а ТЕС на ТПВ — від 25 до 80 євро/МВт·год [8]. Крім того, при споживанні ТПВ вирішується важливе соціальне завдання — утилізація відходів. Однак затрати на будівництво заводів WtoE на порядок вищі за будівництво ТЕС на вугіллі. Середні капітальні витрати на 1 кВт встановленої потужності заводу WtoE складають 7—11 тис. дол. США, а щорічні експлуатаційні витрати — до 400 дол. США на 1 кВт встановленої потужності. Причому капітальні витрати залежать від встановленої потужності, технології переробки, теплоти згоряння ТПВ або RDF/SRF, виду виробленої енергії, глибини очищення димових газів.

Враховуючи високу вартість будівництва та експлуатації заводів WtoE, перспективи енергетичної утилізації ТПВ в Україні можливі тільки тоді, коли

захоронення відходів буде дорожче за переробку. Треба зазначити, що на сьогодні в Україні захоронення ТПВ на полігонах залишається найдешевшим з усіх видів поводження з ТПВ. Ставка податку на захоронення ТПВ в Україні складає 7,5 грн/т (37,86 грн/м³), або 0,25 євро/т, тоді як у Німеччині — 100—350 євро/т, Нідерландах — 90—180 євро/т, Фінляндії — 50—100 євро/т, Данії — 65 євро/т, Швеції — 38—67 євро/т, Франції — 50—120 євро/т, Італії — 70—120 євро/т [2].

Висновки

1. Проблема раціонального управління відходами є актуальною в усьому світі. Зобов'язання України у цій сфері вимагають змінення поводження з ТПВ. У 2019 р. в Україні перероблено й утилізовано всього 5,6% ТПВ, з них тільки 3,7% потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні установи, а 1,7% спалено з генерацією енергії. Згідно з Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 р. рівень термічної переробки ТПВ у 2018 р. мав досягти 5%, у 2023 р. — 7%, а у 2030 р. — 10%. Цих показників планується досягти завдяки будівництву 19 установок термічної утилізації ТПВ до 2030 року. Тобто сьогодні в Україні актуальним є завдання збільшення рівня переробки ТПВ, в тому числі термічної з генерацією енергії.

2. Основна тенденція в управлінні ТПВ в країнах ЄС полягає у їхній комплексній переробці — окремому збиранні, сортуванні, механіко-біологічній обробці та виробництві енергетичного палива з фракцій ТПВ, що залишилися, — RDF та SRF. Перевагою цього підходу є перетворення відходів на товарну продукцію, що може накопичуватись, складуватись, транспортуватись. Якісні характеристики продукції можуть варіюватись.

3. В Україні є потенціал для виробництва 2—3 млн т RDF/SRF палив з теплою згоряння 10—15 МДж/кг щорічно. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1500 ГВт·год електрики та 3000 ГВт·год теплоти. Потенціал заміщення природного газу при цьому понад 0,6 млрд м³.

4. Використання на ТЕЦ цукрових заводів як палива RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитний в Україні природний газ при виробництві електроенергії й теплоти з дотриманням вимог ЄС щодо поводження з відходами. Крім того, використання RDF/SRF на ТЕЦ цукрових заводів може забезпечити їхню безперервну роботу протягом усього року.

Література

1. Закон України «Про внесення змін до Конституції України (щодо стратегічного курсу держави на набуття повноправного членства України в Європейському Союзі та в Організації Північноатлантичного договору)». *Відомості Верховної Ради України*. 2019. № 9. С. 50. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2680-19>.
2. Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano, Jorge Gómez Benavides, Simon Holbrook, Serge Roudier; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. 2019. 764 p.; EUR 29971 EN; doi:10.2760/761437.
3. Haponych L. S., Golenko I. L., Topal A. I., Legislation, current situation and prospects of using municipal solid waste as energy resource in Ukraine. The problems of general energy, 2019, 3(58): 45—54. URL: <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.045>

4. Saveyn H., Eder P., Ramsay M., Thonier G., Warren K., Hestin M. (2016). Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy. EUR 28230 EN. URL: DOI:10.2791/870953.
5. Solomon I., Afanaseva V. Composition and properties of municipal solid waste considered when choosing technical methods of water treatment. *Природообустройство*. 2017. № 3. С. 82—90.
6. Komilis D., Evangelou A., Giannakis G., Lymperis C. Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management*. 2012. Vol. 32, Issue 3. P. 372—381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.034>.
7. Nasrullah M., Vainikka P., Hannula J., Hurme M., Oinas P. Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste. *Waste Management & Research*, 2015. Vol. 34, Issue 1. P. 38—46. URL: DOI: 10.1177/0734242X15615697.
8. Tugov A. N. Prospects for the use of municipal solid wastes as secondary energy resources in Russia. *Therm. Eng.*, 2013, 60: 663—668. URL: <https://doi.org/10.1134/S0040601513090139>.
9. Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/ MAR/E3). WRC, 2003. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>.
10. Бутило Р. Огляд ринку: аналіз, прогнози та перспективи. *Цукор України*. 2017. № 1(133). С. 8—23.

HEAT TRANSFER MODELING IN A FREELY FLOWING EVAPORATING WEAKLY TURBULENT LIQUID FILM

V. Petrenko, M. Pryadko, O. Riabchuk, A. Tsoys

National University of Food Technologies

Key words:

Heat transfer

Film

Turbulent viscosity

Simulation

Velocity

Article history:

Received 10.04.2020

Received in revised form
24.04.2020

Accepted 15.05.2020

Corresponding author:

V. Petrenko

E-mail:

petrenkovp@ukr.net

ABSTRACT

The simulation of thermohydrodynamic processes in evaporating flowing along vertical surface of turbulent liquid films in the free motion mode is carried out on the basis of the proposed new algebraic turbulence model. A comparative analysis of the known algebraic turbulence models for film flows is carried out, their advantages and disadvantages are determined when modeling thermohydrodynamic processes in a film.

Physical modeling of heat transfer processes was performed in stainless steel pipes with a diameter of 22·1 mm, 1.8 m long and 33·1.5 mm, 9 m long, divided into separate sections of 400 mm long. The bulk density of irrigation varied in the range of $0.05 \dots 0.55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ in a pipe with a diameter of 20 mm and $0.05 \dots 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ in a pipe with a diameter of 30 mm. Model liquids were water and sugar solutions with a mass concentration of up to 50% in a state of saturation under atmospheric pressure. Heating was carried out with dry saturated steam.

On the basis of the proposed model of turbulence, analytical expressions for the temperature and velocity profiles in the film were obtained from the heat transfer and momentum equations, and the corresponding integral thermohydrodynamic characteristics for the heat transfer mode, which is characterized as evaporation from the interfacial surface. An expression was obtained for the distribution of turbulent viscosity in a film, which takes into account both the influence of regime parameters and the geometric factor on the intensity of turbulence in the core of the film while maintaining the shape of the basic profile of turbulent viscosity. An expression was obtained for the distribution of turbulent viscosity in the film, which takes into account both the influence of mode parameters and the geometric factor while maintaining the basic shape of the profile. The results of the calculation of the thermohydrodynamic parameters of the film flow are compared to the experimental data on heat transfer for both water and sugar solutions in the mode of evaporation from the interfacial surface.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ У ВІЛЬНО СТІКАЮЧИХ СЛАБОТУРБУЛЕНТНИХ ПЛІВКАХ РІДИНИ ПІД ЧАС ПАРООУТВОРЕННЯ

В. П. Петренко, М. О. Прядко, О. М. Рябчук, А. Л. Цьось

Національний університет харчових технологій

У статті здійснено моделювання теплогідродинамічних процесів у догрітих до температури насичення стікаючих по вертикальній поверхні турбулентних плівках рідини в режимі вільного стікання під час пароутворення на основі запропонованої нової алгебраїчної моделі турбулентної в'язкості. Виконано порівняльний аналіз відомих алгебраїчних моделей турбулентності для плівкових течій, означені їхні переваги та недоліки під час моделювання теплогідродинамічних процесів у плівках.

Фізичне моделювання процесів теплообміну виконано в трубах із нержавіючої сталі діаметром 22·1 мм довжиною 1,8 м та 33·1,5 мм довжиною 9 м, поділених на окремі ділянки довжиною 400 мм. Об'ємна щільність зрошення змінювалась у діапазоні $0,05 \dots 0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ в трубі діаметром 20 мм, та $0,05 \dots 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ — в трубі діаметром 30 мм. Модельними рідинами виступала вода та цукрові розчини масовою концентрацією до 50% в стані насичення під атмосферним тиском. Нагрівання здійснювалось сухою насиченою парою.

На основі запропонованої моделі турбулентності з рівнянь теплоперенесення та збереження імпульсу отримано аналітичні вирази для температурного та швидкісного профілей у плівці, і відповідні інтегральні теплогідродинамічні характеристики для режиму тепловіддачі, що характеризується як випаровування з міжфазної поверхні. Отримано вираз для розподілення турбулентної в'язкості в плівці, в якому враховано як вплив режимних параметрів, так і геометричного фактора при збереженні базової форми профілю. Виконано порівняння результатів розрахунку теплогідродинамічних параметрів плівкової течії з експериментальними даними з тепловіддачі як для плівок води, так і цукрових розчинів у режимі випаровування з міжфазної поверхні.

Ключові слова: тепловіддача, плівка, турбулентна в'язкість, моделювання, швидкість.

Постановка проблеми. За наявності пружної, зумовленої поверхневим натягом, міжфазної поверхні умови розвитку турбулентності в плівках суттєво відрізняються від умов її розвитку в суцільному середовищі. Дані вимірювань турбулентності в плівках вказують на стрімке падіння турбулентної в'язкості в межах міжфазної поверхні, а її максимум дещо зміщений відносно середини плівки в бік міжфазної поверхні [1; 2]. Форма кривої розподілення інтенсивності турбулентності в перетині плівки залежить також від орієнтації руху плівки відносно напрямку сили тяжіння. Так, у плівках, що стікають по нахилених (під кутом 9°) поверхнях, в області чисел Рейнольдса до 1800 тур-

булентна в'язкість має майже параболічний профіль (рис. 1а [1]), тоді як у плівках, що стікають по вертикальній поверхні, спостерігається деформація параболі з пологою частиною біля стінки та стрімким падінням у межах міжфазної поверхні (рис. 1б).

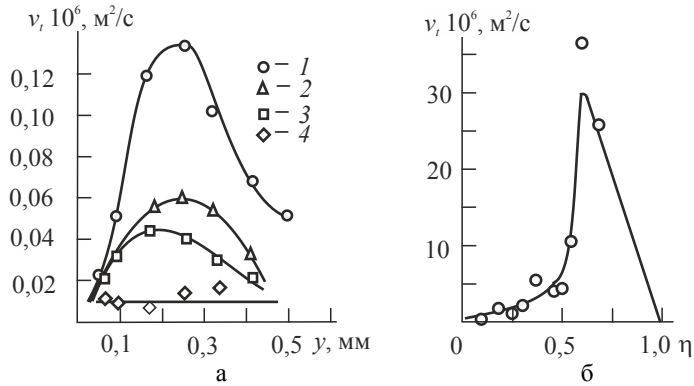


Рис. 1. Залежність турбулентної в'язкості по товщині плівки води, ($t = 20^\circ\text{C}$), а — стікання по нахиленому під кутом 9° жолобу [1]; 1 — $Re = 1834$; 2 — 1462; 3 — 1099; 4 — 732, (метод поглинання CO_2); б — стікання по вертикальній поверхні [2] $Re = 1310$, (метод стробоскопування мікрочастинок окису алюмінію)

В однофазних потоках моделювання складних зсувних пристінних течій здійснюється або прямим чисельним моделюванням на основі сіткових методів або моделюванням на основі програмного комплексу ANSYS з використанням диференціальних $k-\varepsilon$ та $k-\omega$ моделей турбулентності [3—6]. Знайшли застосування і змішані моделі — в пристінній області алгебраїчна форма, а в зовнішній — диференціальна. Досліджень із застосування $k-\varepsilon$ та $k-\omega$ моделей для відтворення теплогідродинамічних характеристик плівкових течій з хвильовою структурою в літературі не знайдено. Але у всіх випадках із застосуванням диференціальних моделей отримуємо лише чисельні розв'язки диференціальних рівнянь руху та конвективного теплообміну, в той час як штучні алгебраїчні моделі [2; 7; 8], які з певним наближенням копіюють форму кривої розподілення турбулентної в'язкості в плівці, маючи відносно простий вигляд, дають задовільні аналітичні результати щодо відтворення теплогідродинамічних процесів у плівках, що стікають по вертикальних поверхнях.

Вдалим алгебраїчним співвідношенням для турбулентної в'язкості в плівках є вираз М. Д. Мілліонщикова [7], в якому постулюється наявність ламінарного прошарку товщиною $\delta_n^+ = 7,8$ та турбулентного ядра в області $7,8/\delta^+ \leq \eta \leq 1$ з параболічним профілем v_t/v :

$$\frac{v_t}{v} = 0,39(\eta\delta^+ - \delta_n^+)(1 - \eta), \quad (1)$$

$$\text{де } \eta = \frac{y}{\delta}; \quad \eta_n = \frac{\delta_n}{\delta} = \frac{\delta_n^+}{\delta^+}; \quad \delta_n^+ = \frac{\delta_n u^*}{\nu} = 7,8; \quad \delta^+ = \frac{\delta u^*}{\nu}; \quad u^* = \sqrt{\frac{\tau_i + \rho g \delta}{\rho}}; \quad \delta_n = \frac{7,8 \nu}{u^*};$$

y — нормальна до поверхні теплообміну координата; δ — товщина плівки; v_t, v — турбулентна та молекулярна в'язкості, відповідно; ρ — густина рідини; τ_i — дотична напружка на міжфазній поверхні; g — прискорення вільного падіння.

У разі заміни постійного коефіцієнта (0,39) на функцію від витратних і режимних параметрів плівки вираз (1) стає зручним для аналізу й узагальнення експериментальних результатів з теплообміну та гідродинаміки плівкових течій. Водночас фізично необґрунтованим виглядає стрибкоподібне зростання турбулентної в'язкості на зовнішній границі ламінарного прошарку у виразі (1). Крім того, в моделі (1) закладена пошаровість зміни в'язкості, тому під час розв'язання рівнянь теплоперенесення виникає необхідність стикування розв'язків між ламінарним і турбулентним прошарками.

Фізично обґрунтованою є модель, запропонована С. М. Василенком [8]. Автор [8] постулює перехід від ламінарного шару до турбулентного у формі поправки Ван Дріста як біля стінки, так і біля міжфазної поверхні:

$$\frac{v_t}{v} = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(1 + l^{+2} \frac{\tau_i + \rho g (\delta - y)}{\tau_i + \rho g \delta} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

$$\text{де } y^+ = \frac{y u^*}{v}; \quad l^+ = 0,4 y^+ \left[1 - \exp \left(-\frac{y^+}{26} \right) \right] \left\{ 1 - \exp \left[n \left(\frac{y^+}{\delta^+} - 1 \right) \right] \right\};$$

$$n = 19,435 \operatorname{Re}^{-0,345} \operatorname{Pr}^{-0,34} (1 + \tau_i^*)^{0,163}; \quad \operatorname{Re} = \frac{4 \Gamma_v}{v}; \quad \operatorname{Pr} — \text{число Прандтля};$$

$\Gamma_v = \frac{G}{\rho \pi d}$ — об'ємна щільність зрошення; G — масова витрата рідини; d — діаметр труби.

Графічно залежності (1), (2) зображено на рис. 2.

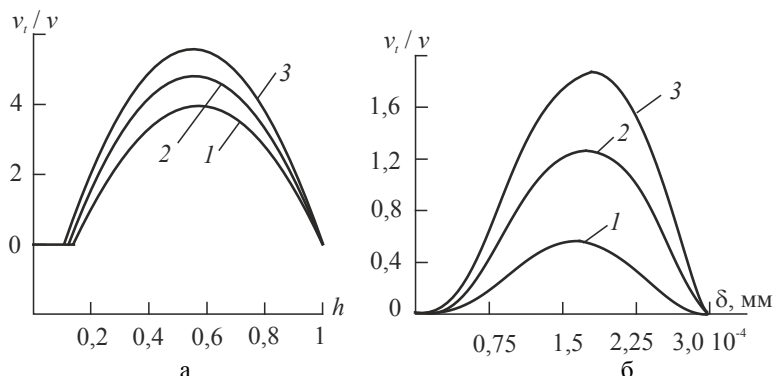


Рис. 2. Розподілення турбулентної в'язкості в перетині плівки за співвідношеннями (1) та (2), $\Gamma_v = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; $1 - \tau_i = 0 \text{ н/м}$, $2 - 1$; $2 - 2$. а — (1), б — (2)

Функція (2) плавно змінюється в межах ламінарного прошарку до турбулентного ядра біля твердої стінки й аналогічно поводить в межах міжфазної по-

верхні за вільного стікання плівки. В разі наявності міжфазної дотичної напруги має місце зміщення максимуму функції до міжфазної поверхні з одночасним її зростанням, що відповідає реальним умовам розвитку турбулентності в плівках. Але розв'язання рівнянь руху та теплопровідності з використанням (2) можливе лише чисельне.

Пропонувалися і комбіновані алгебраїчні моделі розподілення турбулентної в'язкості з пошаровим заданням її профілей: у пристінній області — співвідношенням Ван-Дріста, в ядрі плівки — співвідношенням Рейхардта, в межах міжфазної поверхні — емпіричним співвідношенням Ламурелле-Сандаля. Але відсутніх переваг, крім математичних ускладнень, викликаних пошаровістю розв'язків, такий підхід на надав.

Очевидно, ефективною алгебраїчною моделлю турбулентності буде та, яка, по-перше, з певним наближенням відтворюватиме реальну функцію розподілення турбулентної в'язкості в плівці, а, по-друге, дасть змогу виконувати аналітичні розв'язання рівнянь перенесення для плівкових течій.

Мета дослідження: на основі запропонованої нової алгебраїчної моделі турбулентної в'язкості виконати аналіз теплогідродинамічних процесів у стікаючих плівках рідини під час пароутворення.

Матеріали і методи. Фізичне моделювання процесів теплообміну виконано в трубі з нержавіючої сталі діаметром 22·1 мм довжиною 1,8 м, розділеної на стабілізаційну ділянку довжиною 1,5 м та ділянку вимірювань. Нагрівання здійснювалось сухою насиченою парою. Об'ємна щільність зрошення змінювалась у діапазоні $0,05...0,55 \cdot 10^{-3}$ м³/с. Модельними рідинами виступала вода та цукрові розчини концентрацією 20...50%.

Крім того, використані експериментальні дані, отримані на модельній установці з теплообмінної труби з нержавіючої сталі, довжиною 9 м внутрішнім діаметром 30 мм, секціонованої на 20 секцій довжиною 440 мм з відведенням з кожної секції утвореного конденсату в окремі адіабатні мірні стакани [11], а також дані [12], отримані на установці з довжиною труби 3,9 м діаметром 32 мм з моделювання процесу концентрування яблучного соку під розрідженням. Об'ємна щільність зрошення в трубі діаметром 30 мм змінювалась в діапазоні $0,05...1,9 \cdot 10^{-3}$ м³/с. З детальним описом експериментальних установок можна ознайомитись у [10—12].

Результати і обговорення. Режими руху плівки надзвичайно складні. Відомо, що при стіканні плівки рідини по вертикальній поверхні навіть за малої щільності зрошення формується хвильова структура на її поверхні. На відстані 2 — 2,5 м від формуючого плівку пристрою настає режим насичення хвильового руху [9] зі сформованою структурою низькочастотних великих хвиль, які «прокочуються» по міжфазній поверхні, вкритою високочастотними капілярними хвилями. Великі хвилі містять центральний вихор, тому їх переміщення по поверхні супроводжується перемішуванням рідини, і, відповідно, деформацією швидкості, температури та концентрації. В період між проходженням великих хвиль відбувається періодичний процес вирівнювання профілей температури та швидкості, а у випадку руху розчину — і концентрації. Аналіз процесів теплообміну в плівках з розвинутою хвильо-

вою структурою на основі моделі циклічного збурення плівки великими хвилями виконано в [10], але отримані результати складні для інженерних розрахунків. Тому розглядається спрощена модель теплоперенесення на основі осереднених теплогідродинамічних параметрів плівкової течії та середніх параметрів турбулентності для квазістаціонарного режиму плівкової течії. Плівка розглядається умовно пласкою, а поверхневі хвилі виконують роль турбулізаторів.

Для моделювання турбулентності і, відповідно, процесів перенесення у вертикально стікаючій плівці розглянемо вираз:

$$\frac{v_t}{v} = \varepsilon \eta^2 (1 - \eta^2), \quad (3)$$

де ε — функція режимних параметрів, яка підлягає визначенню.

Графік залежності (3) наведено на рис. 3.

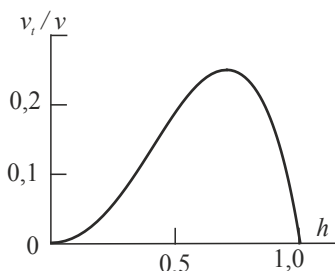


Рис. 3. Графік залежності (3) при $\varepsilon = 1$

Форма кривої на рис. 3 є найбільш адекватною реальному розподіленню турбулентної в'язкості в плівках у вертикальних каналах (рис. 1б). Максимальне значення функції (3) при вершині, зміщеній відносно середини плівки параболі, залежить від витратних параметрів плівки, ступеня розвинення хвильової структури тощо, і може бути визначена на основі зіставлення розрахункових та експериментальних значень теплогідродинамічних параметрів плівкової течії.

За прийнятого спрощення щодо режиму руху плівки процес теплоперенесення можна записати як:

$$q = -\left(\frac{\lambda}{\delta}\right) \left(1 + \frac{\text{Pr}_t v_t}{\text{Pr}_t v}\right) \frac{dt}{d\eta}, \quad (4)$$

де q — тепловий потік; λ — теплопровідність; t — температура; Pr_t — турбулентне число Прандтля.

Прийнявши $\text{Pr}_t = 1$, з урахуванням (3) за граничних умов $\eta = 0$, $t = t_{\text{ст}}$, інтегруючи (4) по товщині плівки, отримуємо температурний профіль:

$$t = t_{\text{ст}} - \frac{q\delta}{\lambda} \frac{\sqrt{2}H}{(4 + \varepsilon \text{Pr})} \left[\frac{1}{R} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon \text{Pr}}{R} \eta \right) - \frac{1}{A} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon \text{Pr}}{A} \eta \right) \right], \quad (5)$$

де $H = \sqrt{4\varepsilon \text{Pr} + \varepsilon^2 \text{Pr}^2}$; $A = \sqrt{\varepsilon^2 \text{Pr}^2 - \varepsilon \text{Pr} H}$; $R = \sqrt{\varepsilon^2 \text{Pr}^2 + \varepsilon \text{Pr} H}$.

Графічна інтерпретація (5) наведена на рис. 4.

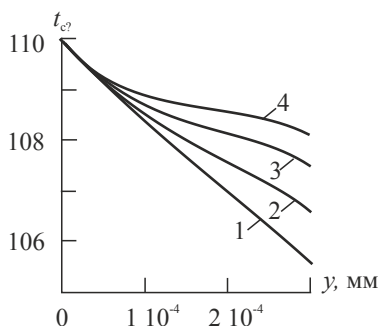


Рис. 4. Результати розрахунку температурного профілю в плівці за (5),
 $Pr = 2$; $\delta = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м; $\lambda = 0,6$ Вт/(мК); $q = 10^4$ Вт/м²; $t_{cr} = 110^\circ\text{C}$.
 1 — $\varepsilon = 0,5$; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 10

З (5) за умови $\eta = 1$, $t = t_i$ отримаємо температуру на міжфазній поверхні

$$t_i = t_{cr} - \frac{q\delta}{\lambda(4 + \varepsilon Pr)} \left[\frac{1}{R} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon Pr}}{R} \right) - \frac{1}{A} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon Pr}}{A} \right) \right] \quad (6)$$

де t_{cr} , t_i — температури стінки труби та міжфазної поверхні плівки відповідно.

Тоді, виразивши коефіцієнт тепловіддачі як $\alpha = \frac{q}{t_{cr} - t_i}$, з (6) отримаємо

$$\alpha = \frac{\lambda(4 + \varepsilon Pr)}{\delta \sqrt{2HN}}, \quad (7)$$

$$\text{де } N = \left[\frac{1}{R} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon Pr}}{R} \right) - \frac{1}{A} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon Pr}}{A} \right) \right].$$

У виразі (7) враховується товщина плівки, яку визначимо з рівняння руху для режиму вільного стікання по вертикальній поверхні з використанням функції (3):

$$\frac{g\delta^2}{\nu}(1 - \eta) = \left[1 + \varepsilon \eta^2 (1 - \eta^2) \right] \frac{du}{d\eta}. \quad (8)$$

Інтегруючи (8), за граничних умов $\eta = 0$, $u = 0$ отримуємо профіль швидкості:

$$u = \left(\frac{g\delta^2}{\nu} \right) \frac{\sqrt{2h}}{(4 + \varepsilon)} \left[\frac{1}{r} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon}}{r} \eta \right) - \frac{1}{a} \text{Arth} \left(\frac{\sqrt{2\varepsilon}}{a} \eta \right) \right] - \frac{g\delta^2}{\nu h} \left[\text{Arth} \left(\frac{\varepsilon(2\eta^2 - 1)}{h} \right) + \text{Arth} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) \right], \quad (9)$$

де $h = \sqrt{4\varepsilon + \varepsilon^2}$; $a = \sqrt{\varepsilon^2 - \varepsilon h}$; $r = \sqrt{\varepsilon^2 + \varepsilon h}$; $n = \left[\frac{1}{r} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon}{r} \right) - \frac{1}{a} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon}{a} \right) \right]$.

Графічна інтерпретація профілю швидкості наведена на рис. 5.

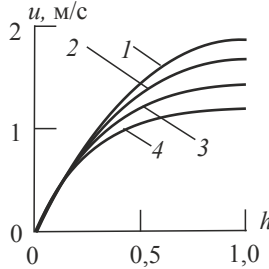


Рис. 5. Результати розрахунку профілю швидкості в плівці за (9),
 $\delta = 0,4 \cdot 10^{-3}$ м; $\nu = 0,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с. 1 — $\varepsilon = 0,5$; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 10

Інтегруючи (9) по товщині плівки, отримаємо вираз для середньої швидкості:

$$\bar{u} = \left(\frac{g\delta^2}{\nu} \right) \frac{\sqrt{2}h}{(4+\varepsilon)} \left[n - \frac{\sqrt{2}}{4\varepsilon} \ln \left(\frac{a^2 - 2\varepsilon^2}{r^2 - 2\varepsilon^2} \right) - \frac{\sqrt{2}}{2\varepsilon} \ln \left(\frac{r}{a} \right) \right] - \frac{g\delta^2}{\nu h} \left[2 \operatorname{Arth} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) - \frac{\sqrt{2}h}{2} \left(\frac{1}{r} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon}{r} \right) + \frac{1}{a} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon}{a} \right) \right) - \frac{\sqrt{2}\varepsilon}{2} n \right]. \quad (10)$$

Ввівши позначення

$$B = \left[2 \operatorname{Arth} \left(\frac{\varepsilon}{h} \right) - \frac{\sqrt{2}h}{2} \left(\frac{1}{r} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon}{r} \right) + \frac{1}{a} \operatorname{Arth} \left(\frac{\sqrt{2}\varepsilon}{a} \right) \right) - \frac{\sqrt{2}\varepsilon}{2} n \right],$$

$$D = \frac{\sqrt{2}h}{(4+\varepsilon)} \left[n - \frac{\sqrt{2}}{4\varepsilon} \ln \left(\frac{a^2 - 2\varepsilon^2}{r^2 - 2\varepsilon^2} \right) - \frac{\sqrt{2}}{2\varepsilon} \ln \left(\frac{r}{a} \right) \right],$$

та враховуючи, що товщина плівки зв'язана з об'ємною щільністю зрошення і середньою швидкістю як

$$\delta = \Gamma_v / \bar{u}, \quad (11)$$

з (10) та (11) отримаємо середню товщину плівки для режиму вільного стікання

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{\Gamma_v \nu h}{g(Dh - B)}}. \quad (12)$$

У виразах (7) та (12) єдиним невідомим параметром є функція максимуму турбулентності при вершині параболи у виразі (3) ε , яка, по-суті, є параметром кореляції. Товщина плівки (12) менш чутлива до ε , ніж коефіцієнт тепловіддачі (7), тому функцію ε знайдено, порівнюючи експериментальні та розрахункові за (7), (12) значення з інтенсивності тепловіддачі до плівки в режимі випаровування з міжфазної поверхні. Для води та цукрових розчинів під час пароутворення в трубі діаметром 20 мм на довжині 1,5 м (рис. 6) отримано співвідношення для функції ε в (3) у вигляді (рис. 6):

$$\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Re}^{1,4} \quad (13)$$

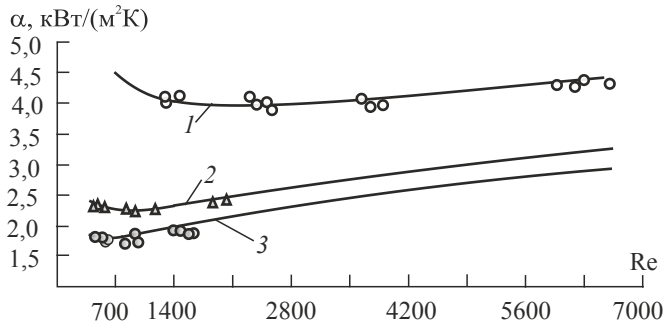


Рис. 6. Залежність $\alpha = f(\text{Re})$ для води та цукрових розчинів у трубі діаметром 20 мм, довжиною $L = 1,5$ м, $t = 100^\circ\text{C}$ за (7), (12), (13), 1 — вода; 2, 3 — цукрові розчини. 2 — $\text{CP} = 40\%$; 3 — $\text{CP} = 50\%$

Щодо адекватності відтворення теплогідродинамічних процесів у каналах різної конфігурації проблематичним є той факт, що хвилеутворення, а, відповідно, і турбулентність у плівці, за однакової щільності зрошення розвивається по-різному в каналах різних діаметрів. Тобто на хвилеутворення впливає як кривизна поверхні, так і довжина пробігання плівки по поверхні теплообміну. Оцінити вплив кривизни поверхні на теплообмін можна шляхом зіставлення експериментальних даних з тепловіддачі до плівок в трубах різних діаметрів [11; 12] з результатами розрахунку за (7), (12), (13). У результаті отримано функцію залежності ε від діаметра труби у формі співмножника до (13), яка має вигляд експоненціальної функції:

$$\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Re}^{1,4} \left\{ 1 + 3,6 \left[1 - \exp \left(1 - \frac{d}{d_o} \right) \right] \right\}, \quad (14)$$

де $d_o = 0,02$ м.

Графічну інтерпретацію результатів розрахунків за (7), (12), (13) для плівок води в режимі випаровування з міжфазної поверхні в трубах різних діаметрів та порівняння з експериментальними даними наведено на рис. 7.

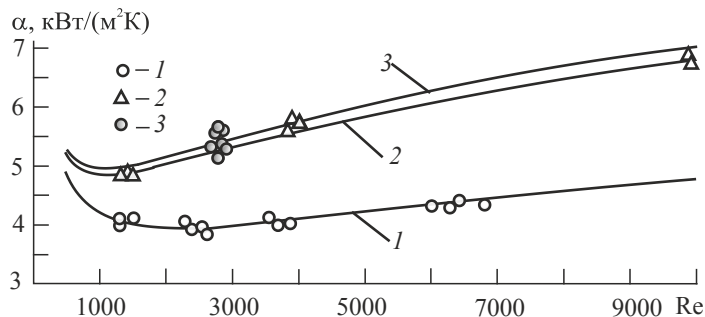


Рис. 7. Залежність $\alpha = f(\text{Re})$ для труб різних діаметрів, 1 — дані авторів, $d = 20$ мм; 2 — [11], $d = 30$ мм; 3 — [12], $d = 32$ мм, вода $t = 100^\circ\text{C}$. Лінії — розрахунок за (7), (12), (13)

Враховуючи обмеженість експериментальних даних з тепловіддачі до вільно стікаючих насичених плівок рідин у каналах інших конфігурацій, доцільно обмежитися діапазоном діаметрів труб 20...34 мм під час використання рівняння (14).

Постає питання щодо коректності використання співвідношень (12), (14) для розрахунку товщини плівки в турбулентному режимі руху. Відомим виразом для товщини турбулентної плівки є співвідношення, отримане на основі закону опору Блазіуса $\xi = 0,316/\text{Re}^{0,316}$ в однофазних потоках, де дотична напруга на стінці визначається як $\tau_w = \xi \rho \bar{u}^2 / 8$. Для вільно стікаючих плівок дотична напруга на стінці та середня швидкість $\bar{u}$ пов'язані з товщиною плівки співвідношеннями $\tau_w = \rho g \delta$, $\bar{u} = \Gamma_v / \delta$. З наведених рівнянь отримано:

$$\delta = 0,135 \text{Re}^{\frac{7}{12}} \left(\nu^2 / g \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (15)$$

У літературі наведені експериментальні дані з товщини плівки води, розчинів гліцерину, толуолу, гасу в турбулентному режимі руху, які задовільно узагальнюються співвідношенням (15)

Порівняння розрахункової за (12), (14) товщини плівки з даними розрахунку за співвідношенням (15) наведено на рис. 8.

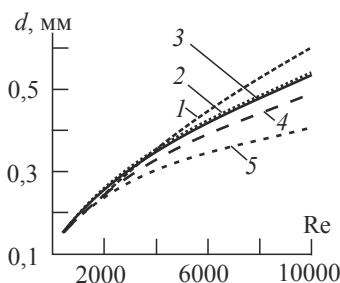


Рис. 8. Залежність товщини плівки від числа Рейнольдса для води $t = 100^\circ\text{C}$,
1 — розрахунок за (15); 2, 3, 4 — розрахунок за (12), (14), 4 — $d = 20$ мм, 3 — 30, 2 — 32;
5 — товщина плівки, розрахована за співвідношенням для ламінарного режиму руху
плівки, $\delta = \sqrt[3]{3\Gamma_v \nu / g}$

Як видно з рис. 8, товщина турбулентної плівки, розрахованої за (12), (14), менша за розраховану за співвідношенням (15). Причина в тому, що функція (14) отримана порівнянням результатів розрахунків за (3), (7), (12) з експериментальними даними з тепловіддачі, а не товщини плівки. Оскільки по верхній плівці в режимі розвинутої хвильової структури рухаються великі хвилі, які, залежно від діаметра, переносять від 20 до 60% витрати рідини, а основна частка теплоти передається саме через неперервний прошарок, отриманий результат коректний.

Висновки

1. Алгебраїчна модель турбулентної в'язкості (3) для режиму руху плівки зі стабілізованою хвильовою структурою якісно відображає реальне розподілення турбулентної в'язкості в плівці, що стікає по вертикальній поверхні.

2. На основі запропонованої моделі турбулентності отримано аналітичні вирази для температурного та швидкісного профілей у плівці та відповідні інтегральні теплогідродинамічні характеристики за умови вільного стікання.

3. Рівняння (7) у сукупності з (12), (14) може використовуватися для розрахунку інтенсивності тепловіддачі до вільно стікаючих у вертикальних трубах турбулентних плівок води та розчинів під час пароутворення при відсутності бульбашкового кипіння.

Література

1. Jepsen J. C. The Effect of Wave Induced Turbulence on the Rate of Absorption of Gasses Falling Liquid Films. *Am.Inst.Chem.Engn.Journal*. 1966. Vol. 12, № 1. P. 186—192.

2. Ганчев Б. Г., Козлов В. М. Экспериментальное исследование гидродинамической структуры пленки жидкости при свободном стекании по вертикальной поверхности. *Теоретические основы химической технологии*. 1973. Том. 7, № 5. С. 727—732.

3. Мовчан В. Т. Шквар Є. О., Козлова Т. В. Алгебро-диференціальні моделі коефіцієнта турбулентної в'язкості для пристінних течій. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2012. № 5(92). С. 63—70.

4. Солодов В. Г. Моделирование турбулентных течений. Расчет больших вихрей. Х.: ХНАДУ, 2011. 211с.

5. Шалев В. И. Применение аналитических методов в современной аэромеханике. Часть 1. Теория пограничного слоя. М.: МФТИ, 2010. 300 с.

6. Кузьминов А. В., Лапин В. Н., Черный С. Г. Метод расчета турбулентных течений жидкости на основе двухслойной к-е модели. *Вычислительные технологии*. 2011. Т. 6, № 5. С. 73—86.

7. Миллионщиков М. Д. Основные закономерности турбулентного течения в пристенных слоях. *Атомная энергия*. 1970. Том. 28, вып. 4. С. 317—320.

8. Василенко С. М. Теплообмін в парорідинних течіях теплообмінних апаратів харчових виробництв: дис. ... доктора техн. наук.: 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв» К., 2003. 326 с.

9. Ганчев Б. Г. Охлаждение элементов ядерных реакторов стекающими пленками. М.: Энергоатомиздат, 1987. 192 с.

10. Петренко В. П. Теплогідродинамічні процеси в низхідних кільцевих паро-рідинних потоках розчинів з розвинутою хвильовою структурою під час пароутворення: дис. ... доктора техн. наук.: 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика». К., 2019. 357 с.

11. Ардашев В. О. Исследование теплообмена при выпаривании гравитационно-стекающей пленки жидкости в вертикальных трубах: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.04 «Промышленная теплоенергетика». К., 1983. 202 с.

12. Глоба О. В. Теплогідродинамічні процеси у плівкових випарних апаратах для яблучного соку: дис. ... кандидата техн. наук: спец. 05.14.06 «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика». К., 2011. 210 с.

ENERGY EFFICIENCY FROM THE INTRODUCTION OF CONVECTIVE-THERMORADIATION DRYING EQUIPMENT WITH A HEAT PUMP

L. Strelchenko, I. Dubkovetskyi

National University of Food Technologies

Key words:

*Semi-finished product
Convective-
thermoradiation drying
Dried apples
Storage
Product
Efficiency*

Article history:

Received 20.04.2020
Received in revised form
12.05.2020
Accepted 02.06.2020

Corresponding author:

L. Strelchenko

E-mail:

lanovenkol@i.ua

ABSTRACT

This scientific work highlights the need for the introduction of energy-efficient industrial equipment, including a convective-thermoradiation dryer with a heat pump, and presents the advantages of its use compared to a classical thermoradiation dryer.

A comparative analysis of the current state of industrial dryers was carried out, the trends of patented inventions were investigated. Based on existing developments, a number of equipment deficiencies were identified, they were taken into account, and the dryer with a heat pump was designed. Data processing of the stated material was carried out on the basis of such programs — KOMPAS-3D V16, Corel DRAW X7.

The developed two-chamber convective-thermoradiation drying unit with a heat pump is designed in such a way that thermoradiation emitters are located between the shelves with a semi-finished product, with the aim of maximum exposure and reflection of rays. The air heated up to 50...60°C is supplied from the bottom of the drying chamber, as well as along the entire height of the chamber through special openings of technological channels. This design feature is associated with a practical problem that often happens in production, namely the loss of air pressure through the grate of the trays and during the production cycle it is necessary to change the position of the trays with the product from the bottom up and vice versa for uniform drying. The use of the heat pump in the installation allows to save up to 80% of electric energy during the production process due to the use of an alternative heat source — air heat. So, for 1 ton of dried apples' production, costs can be reduced by 2046.28 UAH compared to the classical thermoradiation drying, of which electricity accounts for 1670.37 UAH/t. The additional profit from 1 ton of dried apples' production on convective-thermoradiation drying equipment with a heat pump is 32 628.8 UAH. Since the life cycle of the project is 5 years, and the payback period is 0.62 years, this project is profitable. Initial investments in the installation project with the heat pump will require investments in the amount of 204005.28 UAH (the amount is indicated with VAT).

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ КОНВЕКТИВНО-ТЕРМОРАДІАЦІЙНОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Л. В. Стрельченко, І. В. Дубковецький

Національний університет харчових технологій

У статті висвітлено необхідність впровадження енергоефективного промислового обладнання, зокрема конвективно-терморадіаційної сушарки з тепловим насосом, і наведено переваги її застосування порівняно з класичною терморадіаційною сушаркою. У результаті аналізу встановлено ряд недоліків існуючого обладнання, взято їх до уваги та спроектовано сушарку з тепловим насосом. Обробка даних викладеного матеріалу здійснювалась на базі таких програм: КОМПАС-3D V16, Corel DRAW X7.

Розроблену двокамерну конвективно-терморадіаційну сушильну установку з тепловим насосом спроектовано таким чином, що терморадіаційні випромінювачі розміщені між полицями з напівфабрикатом з метою максимального опромінення та відбиття променів. Подача нагрітого до 50...60°C повітря здійснюється знизу сушильної камери, а також по всій висоті камери через спеціальні отвори технологічних каналів. Така конструктивна особливість пов'язана з практичною проблемою, яка часто трапляється на виробництві, адже через втрату напору повітря крізь решітку лотків і в процесі виробничого циклу доводиться змінювати положення лотків з продуктом знизу вверх і навпаки для рівномірного висушування. Застосування теплового насоса в установці дає змогу економити електроенергію на виробничий процес до 80% завдяки використанню альтернативного джерела теплоти — теплоти повітря. Так, на 1 т виробництва сушених яблук можна знизити затрати на 2 046,28 грн порівняно з класичним терморадіаційним сушінням, з них на електроенергію припадає 1 670,37 грн/т. Додатковий прибуток з 1 т виробництва сушених яблук на конвективно-терморадіаційній сушильній установці з тепловим насосом складає 32 628,8 грн. Оскільки життєвий цикл проекту 5 років, а термін окупності 0,61 року, то проект є прибутковим. Початкові інвестиції на проект установки з тепловим насосом потребують вкладень на суму 204 005,28 грн (сума вказана з ПДВ).

Ключові слова: напівфабрикат, конвективно-терморадіаційне сушіння, сушені яблука, зберігання, продукт, ефективність.

Постановка проблеми. Сучасне сушильне промислове обладнання України має високий рівень енергоспоживання, яке зосереджується на технічних джерелах енергії, тому в останні роки енергетична стратегія нашої країни «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18.08.2017 визначила пріоритетні цілі для розбудови енергетичного сектору країни до 2035 р., серед яких перехід до енергоощадного й енергоефективного використання та споживання енергетичних ресурсів з одночасним впровадженням інноваційних технологій [1]. Тому існує доцільність і необхідність розробок промислових установок із

застосуванням сучасних технічних рішень, які будуть характеризувати сушильне обладнання як енергоефективне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі приділяється увага застосуванню теплових насосів у різних галузях науки [2; 3], зокрема українськими науковцями Н. Н. Сороковою та ін. [4] розроблено стрічкову сушарку із застосуванням теплового насоса для сушіння столового буряку. О. Ю. Пилипенком [5] запатентована конвективна сушарка із застосуванням теплового насоса, а науковець з Молдови М. Л. Шит [6] розробив пастеризаційну установку із застосуванням теплового насоса для пастеризації молока. Розвиток сучасного ресурсозберігаючого обладнання доводить ефективність від його впровадження з підвищенням якості його експлуатації.

Мета статті: висвітлення доцільності застосування конвективно-терморадіаційної установки з тепловим насосом на вітчизняному виробничому ринку та порівняння енергоефективності розробленої установки з класичною терморадіаційною.

Викладення основних результатів дослідження. Розроблена конвективно-терморадіаційна сушарка [7] має ряд переваг, які були встановлені дослідним шляхом [8], зокрема енергетична економічність у процесі виробництва продукції. Однак розробка двокамерної сушарки з тепловим насосом (ТН) дає змогу отримати вдвічі більше готового продукту за один цикл виробництва, а економія електроенергії при цьому скорочується до 80% за рахунок альтернативного джерела палива [9], наприклад, за рахунок теплоти повітря.

На рис. 1 представлено конвективно-терморадіаційну установку з тепловим насосом за принципом «повітря-рідина».

Конструктивними особливостями установки передбачено подачу нагрітого повітря під лотками з продуктом, тобто знизу сушильної камери. З метою уникнення застійних зон повітря передбачено технологічні канали, крізь які додатково здійснюється подача та відвід повітря. Опромінення продукту здійснюється за допомогою терморадіаційних випромінювачів, які розташовані між лотками з напівфабрикатом, щоб опромінення було максимальним, а полірований алюміній, з якого виконаний корпус сушарки, додатково відбивав промені.

Теплоносій у тепловому насосі проходить крізь теплообмінник і віддає теплоту на нагрівальний контур ТН. Внутрішній контур ТН заповнений холодоагентом, проходячи крізь випарник перетворюється з рідини в газ завдяки низькому тиску й температурі — 5°C. З випарника охолоджений холодоагент потрапляє до компресора і стискається знову до рідини, холодоагент нагрівається через зміну напруги. Стискання теплоносія здійснюється між двох спіралей, перша закріплена нерухомо, а інша рухома та встановлена із зсувом фаз. Коли одна із спіралей починає рухатись навколо нерухомої, утворюються «подушки». Через зміну об'єму «подушок» відбувається стискання газоподібного холодоагенту і зростання температури. Пара, яка виходить з компресора, поступає до конденсатора. Саме в конденсаторі відбувається теплообмін між гарячим газом і повітрям (теплоносієм) із зовнішнього трубопроводу, де холодоагент віддає свою теплоту для нагріву повітря в сушарці до заданих температур. Після цього охолоджений холодоагент знову перетворюється в рідину і цикл Карно повторюється.

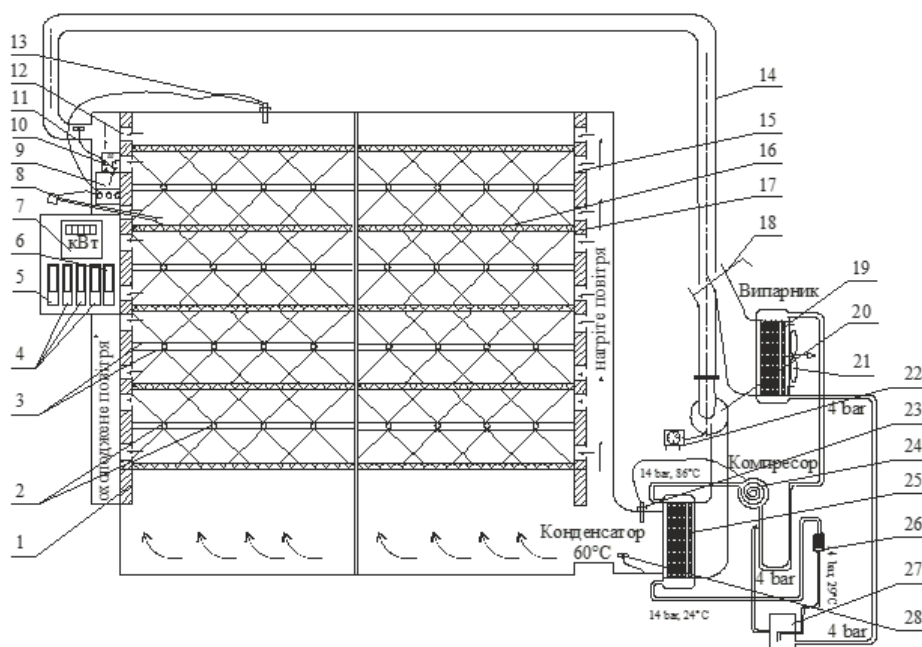


Рис. 1. Схема конвективно-терморадіаційної сушильної установки з тепловим насосом: 1 — камера сушарки; 2 — радіативно-інфрачервоні випромінювачі; 3 — тримачі випромінювачів; 4 — автоматичний вимикач сушарки; 5 — реле; 6 — автоматичний вимикач; 7 — лічильник витрат енергії; 8 — термопари; 9 — блок автоматичного регулювання температури; 10 — регулятор відносної вологості повітря; 11 — датчик для виміру відносної вологості; 12 — технологічні канали для відведення повітря; 13 — контактний датчик; 14 — циркуляційна труба; 15 — технологічні канали для подачі повітря; 16 — лотки сушарки; 17 — полиці для лотків; 18 — шибер; 19 — випарник теплового насоса; 20 — відцентровий вентилятор; 21 — осьовий вентилятор; 22 — блок автоматичного регулювання швидкості руху теплоносія; 23 — контактний датчик; 24 — компресор; 25 — конденсатор теплового насоса; 26 — дросель; 27 — сепаратор; 28 — датчик виміру відносної вологості

Холодоагент для ТН має низьку температуру кипіння, не замерзає при від'ємних температурах та легко переходить з одного стану в інший. Для установки, представленої на рис. 1, як холодоагент обрано фреон (хладон).

Виробництво сушених яблук здійснювалось за класичною технологією, технологічною особливістю виготовлення яблук є бланшування та охолодження напівфабрикату у воді. Така операція необхідна для інактивації пероксидази, яка в процесі подальших технологічних операцій може негативно впливати на хімічний склад продукту: потемніння кольору, пов'язане з окисленням амінокислот продукту під впливом кисню повітря та часткове руйнування аскорбінової кислоти.

Конвективно-терморадіаційне сушіння продукту здійснювалось за такими параметрами: температура повітря в сушильній камері в діапазоні 50...60°C; потужність терморадіаційних випромінювачів — 7...9 кВт/м²; швидкість руху теплоносія — 4,5...5,5 м/с; питоме навантаження напівфабрикату — 6,6...11 кг/м²; відстань від напівфабрикату до випромінювачів 13...15 см; до кінцевої вологості — 10—12%.

Зберігання яблучних снєків здійснюється в сімох варіантах упакування (упакування з повітряним середовищем, під вакуумом, з харчовою сумішшю з модифікаціями із та без застосування поглинача кисню), серед яких обрано дві активні пакувальні системи [10], що впливають на збереження харчового складу та подовження терміну зберігання продукту. Матеріал пакувальної системи виконаний з багатошарової плівки, яка складається з поліетилентерефталату та поліетилену. Середовищем зберігання обрано повітря та харчову газову суміш $\text{CO}_2:\text{N}_2$ [11] при співвідношенні 30:70% з додатковим розміщенням саше-пакета з поглиначем кисню [12; 13] в кожній із систем.

Ефективність від впровадження конвективно-терморадіаційної установки з тепловим насосом представлена практичним економічним розрахунком базового виробництва та проекту (табл. 1—2). З метою чистоти експерименту калькуляцію за статтями (табл. 1) здійснювали на прикладі виробництва сушених яблук за класичною технологією.

Для розрахунку зміни витрат «Інструкції з планування, обліку й калькулювання собівартості продукції на підприємствах консервної промисловості України» вихідні дані були отримані на ТОВ «Продсервіс-ІР» Київська область, м. Ірпінь.

Таблиця 1. Зміни калькуляційних витрат на виробництво 1 тонни сушених яблук

Статті калькуляції	Терморадіаційна сушарка (база), грн	Конвективно-терморадіаційна установка з тепловим насосом (проект), грн	Різниця, грн
	Одиниця калькулювання, 1 т		
1. Сировина і основні матеріали	75 004,8	75 004,8	—
2. Паливо, електроенергія та вода на технологічні цілі	2 320	649,65	-1670,37
3. Заробітна плата:			
3.1. основних виробничих робітників	932,8	932,8	—
3.2. додаткова заробітна плата	26,53	26,53	—
4. Відрахування до єдиного соціального фонду	211,054	211	-0,54
5. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання:			
5.1. амортизація	579,69	305,409	-274,28
5.2. ремонт	214,2	112,86	-101,34
6. Загальновиробничі витрати	2 705,12	2 704,88	-0,24
Всього:	81 994,2	79 947,92	-2 046,28

Примітка: * в табл. знаком «—» позначається економія від виробництва.

З табл. 1 видно, що економічна доцільність від впровадження розробленої сушильної установки з ТН, на прикладі виробництва сушених яблук, складає 2 046,28 грн/т. Економічний ефект в основному базується на економії електро-

енергії на виробництві, оскільки використовується альтернативне паливо — теплота повітря.

Показники ефективності проекту виробництва сушених яблук на базовій і конвективно-терморадіаційній установці з тепловим насосом наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Техніко-економічні показники базового виробництва та проекту виробництва сушених яблук

Показник	Од. виміру	Терморадна сушарка (база)	Конв.-термор-на сушарка з ТН (проект)	Різниця
Виробнича потужність	кг/добу кг/год	200 59,7	523,94 78,2	+323,94 +18,5
Виробнича програма у натуральному вигляді	т/рік	38,4	100,599	+62,199
Кількість робітників основного виробництва	чол.	1	1	1
Додаткові капітальні витрати				
з ПДВ	грн	—	204 005,28	—
без ПДВ	грн	—	170 004,4	—
Затрати на електроенергію	грн/т	2 320	649,65	–1 670,35
Додатковий прибуток				
на 1 т	грн	32 704,25	32 628,8	–75,45
на обсяг	грн	1 255 843,2	3 282 424,6	+2026581,4
Чистий прибуток				
на 1 т	грн	26 814	26 755,62	–58,38
на обсяг	грн	1 029 657,6	2 691 588,6	+1 661 931
Рентабельність продукції	%	25,93	26,53	+0,6
Термін окупності проекту	роки	—	0,62	—
Виробнича собівартість	грн/т	126 144,93	122 996,8	–3 148,13
Відпускна ціна	грн/т	204 354,8	199 254,82	–5 099,98

З табл. 2 видно, що відпускна ціна 1 т сушених яблук, виготовлених на розробленій установці з ТН, складатиме 199 254,82 грн, що на 5 099,98 грн менше за 1 т сушених яблук, виготовлених на терморадіаційній (базовій) установці. Разом з тим із збільшенням продуктивності виробленого продукту за один цикл збільшується загальний обсяг виробництва протягом 6 місяців роботи цеху, що складатиме 100,6 т/рік. Завдяки цьому отримаємо чистий приріст прибутку в розмірі 1 661 931 грн/рік.

Висновки

Техніко-економічний аналіз розробленої конвективно-терморадіаційної установи з тепловим насосом і терморадіаційної сушарки доводить, що впровадження розробленого енергозберігаючого сушильного обладнання скорочує

витрати на виробництво сушених яблук. Це суттєво відображається на собівартості продукції — 3 148,13 грн/т та, відповідно, на ціні товару, що складає 199 254,82 грн/т, а це на 5 099,98 грн/т менше ніж при виробництві цього ж продукту на терморадіаційній сушарці. Термін окупності проекту складає 0,62 року.

Література

1. Міненерговугілля України ДП «НЕК «Укренерго» відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України). Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. Київ. 2017. С. 87.
2. Тепловий насос: пат. 52228 України: МПК (2009) F25B 9/00. № а 201003117; заявл. 18.03.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
3. Тепловий насос: пат. 58921 України: МПК (2011.01) F25B 9/00. № u 201012584; заявл. 25.10.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8.
4. Сорокова Н. Н., Снежкин Ю. Ф., Шапарь Р. А., Сороковой Р. Я. Способ сушки термолабильных материалов в ленточной сушильной установке с применением теплового насоса. *Наукові праці ОНАХТ*. 2015. Випуск 47, том 2. С. 91—97.
5. Низькотемпературна конвективна теплонасосна сушарка: пат. 137557 України: МПК (2006): F26B 3/02 (2006.01), F26B 17/00. № u 201904076; заявл. 17.04.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20.
6. Шит М. Л. Теплонасосная пастеризационно-охлаждающая установка. *Наукові праці ОНАХТ*. 2015. Випуск 47, том 2. С. 148—151.
7. Радіаційно-конвективна сушильна установка: пат. 112348 Україна: МПК C2 F26B 3/30 F26B 3/04 F26B 9/06 F26B 21/04 F26B 21/08 F26B 21/10 F26B 21/12 A23B 7/02. № а 2014 11435 заявл. 20. 10. 2014; опубл. 25.08.2016, Бюл. № 16. С. 5.
8. Малезик И. Ф., Дубковецкий И. В., Бандуренко Г. М., Стрельченко Л. В. Исследование процесса сушки яблок конвективным, терморadiационным и комбинированным способами. V Международная научно-техническая конференция, посвящена 85-летию ФГБОУ ВПО «Воронежского государственного университета инженерных технологий», 65-летию кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств», Россия, Воронеж, 4—5 июня 2015. С. 493.
9. Радіаційно-конвективна сушильна установка з тепловим насосом: пат. 136466 України МПК (2019.01) F26B 3/30 F26B 3/20 F26B 9/06 F26B 21/00 A23L 7/02. № u 2019 00690, заявл. 23. 01. 2019; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16. С. 6.
10. Yadav K. S, Prabha R., Renuka K. Active packaging: concepts and applications. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*. 2015. V 4. P. 194—200.
11. Skandamis P. N. and Nychas G. E. Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal Food Microbiology*. 2002. V. 79. P. 35—45.
12. Vermeiren L. F., Heirlings F., Devlieghere, Debevere J. Oxygen, ethylene and other scavengers. In *Novel food packaging techniques*. Ed: R. Ahvenainen. Cambridge, Woodhead Publishing Limited. 2003. P. 22—49.
13. Tewari G., Jayas D. S., Jeremiah L. E. and Holley R. A. Absorption kinetics of oxygen scavengers. *International Journal Food Science Technology*. 2002. V. 37, P. 209—217.

ASSESSMENT OF PROSPECTS FOR THE USE OF SECONDARY ENERGY RESOURCES OF BREWERIES

A. Sokolenko, O. Shevchenko, K. Vasyukivsky, S. Litvinchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Energy resources
Brewery
Boiling department
Washing water
Congestion
Vacuuming*

Article history:

Received 28.04.2020
Received in revised form
11.05.2020
Accepted 28.05.2020

Corresponding author:

A. Sokolenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the features of energy and technological transformations in the processes in breweries, indicating the existence of contradictions in the selection and use of the amount of washing water to filter congestion and energy consumption for wort concentration during boiling. The economic cost indicator which was selected as the optimization criterion in the system of “filtration — boiling” processes has led to the creation of an appropriate mathematical formalization, which presents such components as the cost of extractives and energy resources and thermodynamic parameters.

The analysis of the peculiarities of the preparation of congestion led to the conclusion that it is expedient to apply energy pulse effects by vacuum for the organization of adiabatic steam generation.

Information about the device for boiling with the use of vacuum chambers arranged in the transport system between mash and filtration devices and substantiation of thermodynamic processes is given. The potentials of the vapor phase synthesis and its quantitative indicators are determined under the energy source of the system, namely the heat of the mash mass in the conditions of known ranges of pressure decrease.

It is shown that the technological result of the influence of vacuum treatment on the solid part of the mash mass is accompanied by a limitation of the amount of washing water, energy resources and economic costs during wort boiling. This trinity opens the prospect of using the potential of the secondary vapor of wort brewing machines for drying unloaded from the filtration apparatus beer pellets in parallel with the wort boiling process.

The use of adiabatic phase transitions is one of the variants of discrete-pulse technologies with manifestations of energy-mechanical influences, in which there is no need to separate the generated vapor phase. The latter allows in this technology to be limited to the manifestation of only the pulse itself, the result and course of which in time depends on the level of pressure drop in the volume of the medium.

ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ВАРИЛЬНИХ ВІДДІЛЕНЬ ПИВЗАВОДІВ

А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, К. В. Васильківський, С. І. Літвинчук
Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано особливості енергетичних і технологічних трансформацій у процесах варильних відділень пивзаводів з вказівкою на існування протиріччя при виборі та використанні кількості промивних вод для фільтрації заторів і енергозатрат на концентрування сусла під час варіння. Вибраний за критерій оптимізації в системі процесів «фільтрація — варіння» показник економічних витрат привів до створення відповідної математичної формалізації, в якій представлено такі складові, як собівартість екстрактивних речовин та енергетичних ресурсів і термодинамічні параметри.

Аналіз особливостей приготування заторів підтвердив доцільність застосування енергетичних імпульсних впливів шляхом вакуумування для організації адіабатного генерування пари.

Наведено інформацію про влаштування варильних агрегатів із застосуванням вакуумних камер, вмонтованих у транспортну систему між заторним і фільтраційним апаратами, та обґрунтування термодинамічних процесів. За енергетичного джерела системи, зокрема теплоти заторної маси в умовах відомих діапазонів зниження тисків, визначено потенціали синтезу парової фази та її кількісні показники.

Показано, що технологічний результат впливу вакуумної обробки на тверду частину заторної маси супроводжується обмеженням кількості промивних вод, енергетичних ресурсів і економічних витрат при варінні сусла. Вказана триєдність відкриває перспективу використання потенціалу вторинної пари сусловарильних апаратів для сушіння невивантаженої з фільтраційного апарата пивної дробини в паралельному з варінням сусла процесі.

Використання режимів адіабатних фазових переходів є одним з варіантів дискретно-імпульсних технологій з проявами енергомеханічних впливів, за яких відсутня необхідність відокремлення генерованої парової фази. Останнє дає змогу в цій технології обмежитись проявом лише самого імпульсу, результат і перебіг якого у часі залежить від рівня зниження тиску в об'ємі середовища.

Ключові слова: енергетичні ресурси, пивзавод, варильне відділення, промивні води, затор, вакуумування.

Постановка проблеми. Особливості перебігу технологічних операцій на різних етапах виробництва інколи формулюють вимоги до оброблюваних середовищ, які суперечать одна одній. Саме вони лежать в основі того, що оптимальні умови ведення процесів і нині не досягаються. До відомих протиріч належать вимоги глибокого вилучення екстрактивних речовин із зерноприпасів і забезпечення якісної фільтрації пивних заторів при обмеженні кількості про-

мивних вод [2; 3; 5]. При цьому певне значення має сам солод і його якісні показники. Подрібнюється він зволженим і склад помелу залежить також від способів його затирання та фільтрації.

Неподрібнені оболонки в процесах фільтрації утворюють фільтраційний шар, на якому формується вся структура, швидкість відокремлення рідинної фракції і ступінь її освітлення.

Метою затирання є екстрагування розчинюваних речовин солоду та несо-
ложених матеріалів і переведення під дією ферментів нерозчинених речовин у розчинні. Такі речовини, як вуглеводи, частково білки та продукти їх гідролізу легко переходять у розчин. Основні ж компоненти зерноприпасів — крохмаль і білки — нерозчинні. Саме тому завдяки спрямованій дії ферментів вони переводяться у розчинний стан з накопиченням у середовищі декстринів, мальтози та глюкози.

Оцукрений затор складається з рідинної фази (пивне сусло) і твердої (пивна дробина). На першій фазі здійснюється, власне, фільтрування основного сусла, а на другій — вимивання екстракту з дробини. Очевидно, що ступінь вимивання екстракту залежить від структури помелу і кількості промивної води, що подається на процес. Збільшення останньої приводить до зростання ступеня вилучення екстрактивних речовин, але разом з тим це приводить до необхідності збільшувати кількість випару при варінні сусла.

Кількість води для промивання дробини залежить від кількості і концентрації першого сусла та від концентрації екстрактивних речовин у сусловарильному апараті, а збільшення кількості промивних вод означає необхідність збільшення кількості випару на наступній стадії.

Існує взаємозалежність між матеріальними й енергетичними потоками на цій ділянці [1; 4; 6], і отже, можливою є оптимізація цих співвідношень.

Метою дослідження є оцінка перспектив використання вторинних енерго-матеріальних ресурсів варильних відділень пивзаводів на основі переходів від локальних розв'язань задач удосконалення окремих процесів до їх поєднання в комплекс інтересів системи.

Матеріали і методи стосуються поглибленого аналізу перехідних процесів і процесів з усталеними режимами, які відповідають технологіям затирання, фільтрації, промивання заторів, варіння й охолодження пивного сусла. Відслідковуються взаємні впливи у спробах підвищити рівні вилучення екстрактивних речовин у процесах фільтрації з урахуванням компенсації випарів сусла в сусловарильних апаратах та відповідних енергетичних витрат. Щодо існуючих технологій вирішення вказаного протиріччя, пропонується на основі використання енергоімпульсних трансформацій у масових потоках середовищ зі зміною структури твердої фази заторів для поглиблення та прискорення вилучення екстрактивних речовин і переведення їх у рідинну фракцію.

В основі енергоімпульсних трансформацій оцінюються впливи змінних тисків і можливості використання потенціалів вторинної пари сусловарильних апаратів для сушіння пивної дробини.

Результати і обговорення. Структурою витрат на виробництво передбачається нормативний вихід екстрактивних речовин. За досягнення цього показника промивка припиняється, хоча економічна доцільність таких дій у більшості випадків залишається без оцінки. Проте остання є цілком досяжною і такою, яку цілком можливо одержати в умовах діючого виробництва.

Загальний алгоритм при цьому такий:

- на основі лабораторних оцінок визначається залежність між виходом в абсолютних одиницях маси екстрактивних речовин $m_{\text{ек.р}}$ і масою використаної для цього промивної води $m_{\text{в}}$. У загальній формі представимо її залежністю:

$$m_{\text{ек.р}} = A m_{\text{в}}^z,$$

де A та z — експериментальні для цієї системи коефіцієнти.

За собівартості одиниці екстрактивних речовин $c_{\text{ек.р}}$ додатковий економічний ресурс виробництва при цьому складе:

$$P_1 = c_{\text{ек.р}} m_{\text{ек.р}} = c_{\text{ек.р}} A m_{\text{в}}^z;$$

- визначаються додаткові енергетичні й економічні витрати, пов'язані зі збільшенням кількості випару. При цьому енергетичні витрати на теоретичному рівні (без урахування ККД енергетичної системи) складуть:

$$E_2 = r m_{\text{в}},$$

де r — теплота пароутворення. За собівартості енергії c_2 отримаємо:

$$P_2 = c_2 E_2 = c_2 r m_{\text{в}};$$

- виконуємо загальну оцінку економічної доцільності в діях з підвищення виходу екстрактивних речовин:

$$L = P_1 - P_2 = c_{\text{ек.р}} A m_{\text{в}}^z - c_2 r m_{\text{в}}.$$

Остання залежність надає можливість знайти екстремум функції L . Для цього виконаємо її диференціювання за параметром $m_{\text{в}}$:

$$\frac{dL}{dm_{\text{в}}} = c_{\text{ек.р}} A z m_{\text{в}}^{z-1} - c_2 r.$$

Прирівнявши до нуля останній результат, отримаємо:

$$c_{\text{ек.р}} A z m_{\text{в}}^{z-1} = c_2 r; \quad m_{\text{в}}^{z-1} = \frac{c_2 r}{c_{\text{ек.р}} A z}; \quad m_{\text{в}} = \sqrt[z-1]{\frac{c_2 r}{c_{\text{ек.р}} A z}}.$$

Ефективність процесів екстракції і фільтрації пивних заторів залежить від значної кількості чинників, починаючи від процесів замочування зернової маси і завершуючи режимами відлежування солоду і параметрів приготування заторів. Значення має як структура компонентів помелу з капілярно-пористою структурою, так і фізика впливів на них створюваних температурних полів, механічних впливів, режимів циркуляції тощо. Однак, незважаючи на вказану різноманітність впливів, слід звернути увагу на те спільне, що всім їм притаманне. Таким спільним щодо окремого компонента системи є те, що всі вони мають «зовнішні» дії, за яких градієнти відмічених температурних і силових впливів спрямовані в середину частинок і мають викликати ущільнення ос-

танні. З точки зору інтересів наступної дифузії з них екстрактивних водорозчинних речовин такий результат явно не є найкращим.

Можливість суттєвого впливу на додаток до традиційних методів теплової обробки та екстракції стосується режимів адіабатного кипіння середовищ. У таких режимах змінюються за напрямком градієнти температурних полів і збігаються градієнти масоперенесення. Окрім того, адіабатне пароутворення, що стосується кожної частинки твердої фази, супроводжується внутрішнім силовим впливом, величина якого залежить від динаміки загального зниження тиску (вакуумування) в системі. Така внутрішня силова дія приводить до збільшення, капілярів, пори розширюються або навіть досягається руйнування частинок. Наслідком таких структурних змін має бути прискорена і поглиблена екстракція.

Стосовно оброблення пивних заторів у режимах адіабатного кипіння, слід відмітити наявність фізичних і термодинамічних підстав для цього. До їх числа відносяться параметри, за яких варіння заторів завершується. Переведення заторної маси в режим адіабатного кипіння доцільно здійснювати при транспортуванні її до фільтраційного апарата. Таке вирішення технологічної схеми залишає без втручання всю технологію приготування заторів, що забезпечить необхідні якісні показники.

Обробка заторної маси в режимі адіабатного кипіння повинна передбачати керовані температурні режими. Це означає необхідність пропускання її через апарат зі зниженим тиском, величина якого повинна привести середовище в активне адіабатне кипіння.

У зв'язку з технологічними вимогами температуру затору, що передається у фільтраційний чан, обмежують величиною 76—78°C, хоча за більш високих температур процес фільтрування відбувається помітно швидше. Пояснюється вибір на користь вказаного діапазону температур тим, що α -амілаза при температурах вищих за 78°C все більше інактивується. Однак за фільтрування заторів нативний крохмаль ще переходить у розчин і повинен розщеплюватися.

Близько 75—80% маси засипу за затирання розчинюється (екстрагує), а нерозчинений залишок відокремлюється у вигляді дробини [6; 9]. Основна кількість утвореного екстракту складається з мальтози, мальтотріози, глюкози, які доповнюються раніше утвореними в ячмені сахарозою та фруктозою. У зв'язку з викладеним глибина вакуумування затору повинна забезпечувати його адіабатне кипіння при температурах від 78°C і нижче.

Пропозиції щодо створення систем з вакуумуванням потоків заторної маси відображені у патентах України 30540 [8] і 97895 [7]. В останньому випадку схема варильного агрегату відповідає рис. 1, а формула винаходу сформульована так: варильний агрегат для пива, що складається із заторного апарата, фільтраційного та сушварильного апаратів, вакуумної камери з шлюзовими затворами, насоса, з'єднаних між собою системою трубопроводів, який відрізняється тим, що на ділянці трубопроводу між заторним апаратом і вакуумною камерою встановлено ежекційний пристрій, з'єднаний зоною розрідження з внутрішнім об'ємом вакуумної камери.

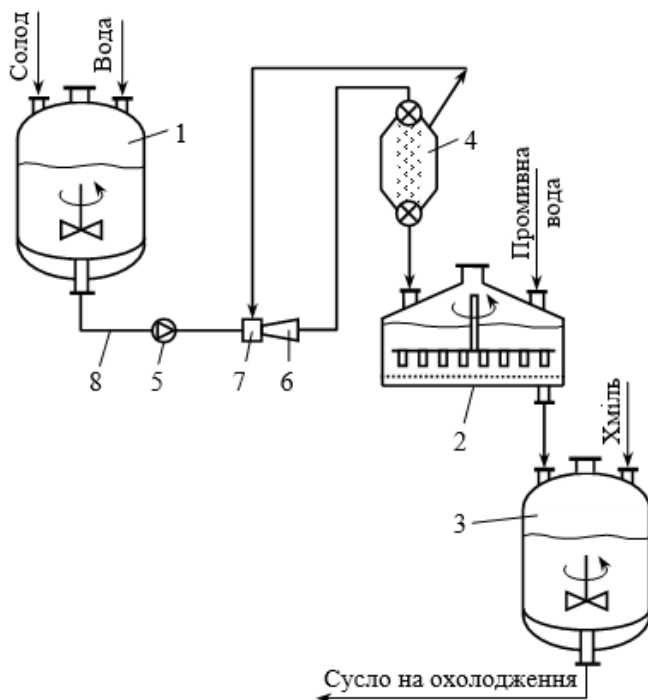


Рис. 1. Схема варильного агрегату для пива (патент України 97895)

Наслідком такої трансформації класичної схеми є поєднання технологічного, енергетичного та економічного ефектів.

Варильний агрегат (рис. 1) працює так: подрібнений солод і вода надходять у заторний апарат 1, в якому за температури 50—80°C здійснюється процес оцукрювання крохмалю та утворюється заторна маса. При подаванні заторної маси насосом 5 по системі трубопроводів 8 в зоні розрідження 7 ежектора 6 утворюється розрідження, завдяки якому камера 4 вакуумується, внаслідок чого потік зернової маси в ній переходить до режиму адіабатного кипіння з руйнуванням міжклітинних і клітинних структур заторної маси. Відсмоктувана з вакуумної камери вторинна пара стискається в ежекторі і повертає свій тепловий потенціал потоку. У фільтраційному апараті 2 здійснюється фільтрація мутного сусла, а прозоре сусло стікає в сушварильний апарат 3, в якому воно кип'ятиться з хмелем для досягнення необхідних технологічних показників.

Технічний результат полягає у можливості підвищення рівня вилучення екстрактивних речовин з заторної маси, зменшення втрат з пивною дробиною, зниження енерговитрат на процес концентрування пивного сусла та покращення якості продукції.

За необхідності підтримання підвищеного температурного режиму фільтраційної маси пропонується до використання варильний агрегат для пива за патентом України 50230 (рис. 2).

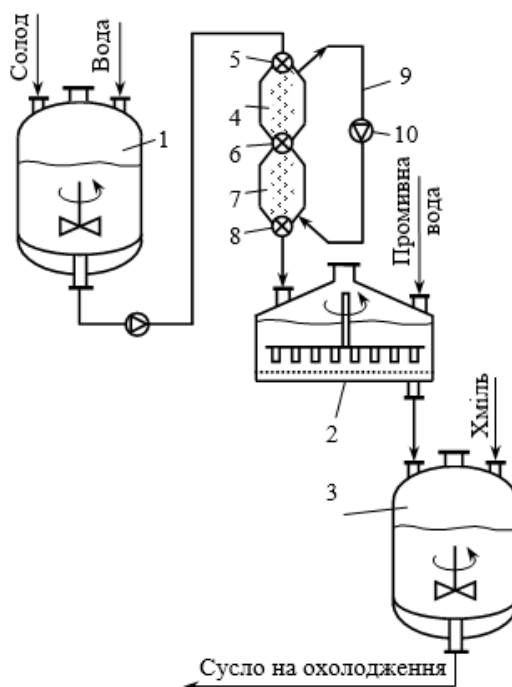


Рис. 2. Схема варильного агрегату для пива (патент України 50230)

Агрегат складається із заторного апарата 1, фільтраційного 2 та сусловарильного 3 апаратів, вакуумної камери 4 з верхнім 5 та нижнім 6 шлюзовими затворами, пароконтактної камери 7 з нижнім шлюзовим затвором 8, циркуляційного контуру 9 вторинної пари з компресором 10.

Подавання заторної маси у вакуумну камеру супроводжується адіабатним кипінням останньої з руйнуванням міжклітинних і клітинних структур зі зниженням температури від 80 до 70—78°C. Розрідження у вакуумній камері підтримується за рахунок роботи компресора циркуляційного контуру вторинної пари.

Стискання останньої приводить до підвищення температури, її енергетичний потенціал передається заторній масі в пароконтактній камері з підвищенням температури до 80°C. Технічний результат збігається з попередніми пропозиціями і в основній частині відповідає можливості зниження кількості промивних вод і обмеження втрат екстрактивних речовин.

Оцінка енергетичних впливів на заторну масу в періоди вакуумування зводиться до того, що за швидкоплинного перебігу процесу від моменту потрапляння потоку в зону розрідження з початковою температурою $t_{(n)} = 80^\circ\text{C}$ кінцева температура $t'_{(к)}$ на виході залежить від значення тиску. Надалі в наших оцінках значення параметрів відносимо на рідинну фазу. Так, воді з температурою 80°C відповідає значення ентальпії $h' = 335,2$ кДж/кг [10]. За таких умов адіабатному фазовому переходу відповідає тиск $P = 0,047359$ МПа.

Значенням можливих співвідношень термодинамічних параметрів відповідають дані табл. 1, в якій наявні тиски P , МПа, температури t , °С, ентальпії рідинної фази h' , кДж/кг, парової фази h'' , кДж/кг і теплоти фазового переходу r , кДж/кг.

Таблиця. Значення термодинамічних параметрів

P , МПа	t , °С	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	h' , кДж/кг
0,1	99,63	417,51	2675,7	2258,2
0,09	96,71	405,21	2671,1	2265,9
0,08	93,51	391,72	2666,0	2278,8
0,07	89,96	376,77	2660,2	2283,4
0,06	85,95	359,93	2653,6	2293,7
0,05	81,35	340,57	2646,0	2305,4
0,04	75,89	322,60	2638,8	2316,2
0,03	69,12	289,31	2625,3	2336,0
0,02	61,15	268,18	2616,6	2358,1
0,01	45,83	191,84	2584,4	2392,6
0,005	32,90	137,77	2561,2	2423,4

З аналізу таблиці випливає, що початковій температурі середовища відповідає певне значення тиску, за якої розпочинається фазовий перехід. Якщо тиск у системі є змінним у часі у бік зменшення за всякої залежності $P = P(\tau)$, то його зниження приведе у кінцевому результаті до початкового тиску $P'_{(п)}$, що відповідає температурі середовища (наприклад, $t'_{(п)} = 80^\circ\text{C}$). Тоді кінцевому тиску $P'_{(к)}$ відповідає кінцева температура середовища $t'_{(к)}$.

Сполученням $P'_{(п)}$ і $t'_{(п)}$ та $P'_{(к)}$ і $t'_{(к)}$ відповідають значення ентальпій $h'_{(п)}$, $h'_{(к)}$, $h''_{(к)}$ та енерговитрати на фазові переходи $r''_{(п)}$ та $r''_{(к)}$.

Різні закономірності в змінах тисків $P = P(\tau)$, у тому числі і за умови $P = \text{const} = P_{(к)}$ визначають динаміку перебігу процесу генерування парової фази, однак за різних значень $\tau_{(к)}$ загальні результати збігатимуться, що відображується графічною інтерпретацією $t = t(P)$ за даними табл. 1 (рис. 3).

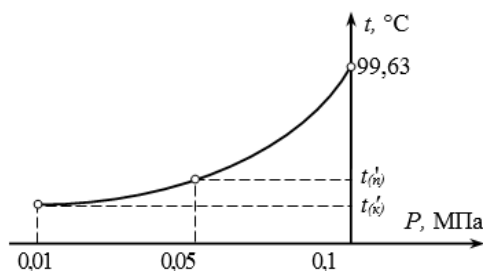


Рис. 3. Залежність між температурою і тиском фазового переходу

Прийнятим значенням $t'_{(п)} = 81,35^\circ\text{C}$ і $t'_{(к)} = 45,83^\circ\text{C}$ відповідають $P'_{(к)} = 0,01$ МПа, $h'_{(п)} = 340,57$ кДж/кг, $h'_{(к)} = 191,84$ кДж/кг, $r''_{(п)} = 2305,4$ кДж/кг і $r''_{(к)} = 2392,6$ кДж/кг, за яких різниця ентальпій $\Delta h'$ становить:

$$\Delta h' = h'_{(n)} - h'_{(к)} = 340,57 - 191,84 = 148,73 \text{ кДж / кг.}$$

Теплота фазового переходу в середньому обчисленні визначається залежністю:

$$r''_{\text{ср}} = \frac{r''_{(n)} + r''_{(к)}}{2} = \frac{2305,4 + 2392,6}{2} = 2349 \text{ кДж/кг.}$$

Питоме співвідношення значень $\Delta h'$ і $r''_{\text{ср}}$ дає змогу визначити кількість генерованої пари:

$$\Delta m_{\text{п}} = \frac{\Delta h'}{r''_{\text{ср}}} = \frac{148,73}{2349} = 0,0633 \text{ кг/кг.}$$

Потужність енергетичного впливу визначається часом перебігу процесу і за значення $t_{(к)} = 10$ с отримаємо:

$$N = \frac{\Delta h'}{t'_{(к)}} = \frac{148,73}{10} = 14,873 \text{ кВт/кг.}$$

За умови попереднього нагрівання затору до 100°C розрахункові дані становлять:

$$\Delta h'' = 417,51 - 191,84 = 225,67 \text{ кДж/кг;}$$

$$\Delta m_{\text{п}} = \frac{225,67}{2325,4} = 0,097 \text{ кг} \quad \text{і} \quad N = \frac{225,67}{10} = 22,568 \text{ кВт/кг.}$$

Перехід до оцінок термодинамічної ситуації переведення систем вакуумування до незрівноважених станів з їх швидкоплинним перебігом за значень середніх потужностей приводить до висновку про їхню високу енергонасиченість. Саме імпульси високої потужності визначають фізичний вплив на систему з прискореним виходом рідинної фази із загальної маси, а ідея використання вакуумного насоса в ній означає, що відсмоктувана парова фаза повинна бути стиснута до значень, які перевершують зовнішній атмосферний тиск з відповідним збільшенням температури й енергетичного потенціалу. Враховуючи, що значення теплоти пароутворення і теплоти конденсації збігаються і відбувається енергетичне поповнення за рахунок стискання пари, можна зробити висновок про доцільність підтримання енергетичного потенціалу середовища завдяки використанню внутрішнього конденсатора або іншим способом. Одна з пропозицій такого напрямку відображена в розробці (рис. 2).

Головним результатом вакуумної обробки потоку заторної маси є можливість скорочення кількості промивних вод, вторинним наслідком якого є скорочення випарів суслу у сушловарильному апараті.

Разом з тим інтенсивне кип'ятіння суслу є обов'язковою складовою технологічного процесу, тому зменшення кількості промивних вод лише частково обмежує енерговитрати для концентрування суслу. У зв'язку з цим утворення вторинної пари підтверджує необхідність рекупераційного використання її потенціалу. Особливості побудови загальної технології і послідовностей процесів супроводжується відносними ускладненнями організації рекуперативних систем і поглибленого використання енергетичних ресурсів. Це пов'язано з їхньою несинхронністю, незбіганням величин потенціалів, необхідністю створення

систем накопичення і зберігання енергоматеріальних ресурсів. Нестандартна оцінка таких систем потребує пошуку і створення паралельних процесів з використанням потенціалів вторинних енергетичних ресурсів.

Послідовність процесів фільтрації заторів та кип'ятіння суслу і можливе паралельне виконання останнього з сушінням пивної дробини вкладаються в рамки послідовних і паралельних процесів. При цьому енергетичний потенціал вторинної пари співрозмірний енерговитратам на сушіння дробини. Таке поєднання втілюється в ідею, відображену в патенті України 98892 (рис. 4), за якою пропонується сушіння дробини здійснювати безпосередньо у фільтраційному апараті після завершення фільтрації і від початку утворення вторинної пари в сушловарильному апараті. При цьому формула винаходу відображена таким чином: варильний агрегат для пива, що складається із заторного апарата, вакуумної камери, фільтраційного та сушловарильного апаратів, з'єднаних між собою системою трубопроводів, який відрізняється тим, що паровий об'єм сушловарильного апарата з'єднано з калорифером-нагрівачем системи подавання повітря в підситовий простір фільтраційного апарата.

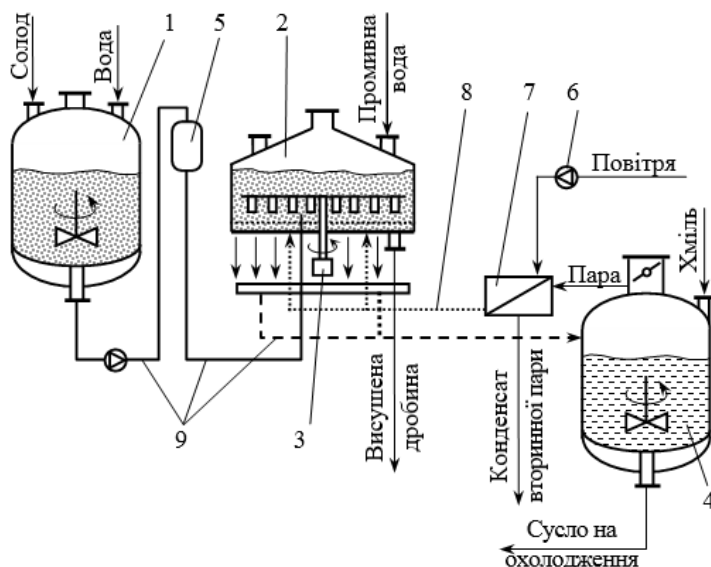


Рис. 4. Схема варильного агрегату для пива (патент України 98892)

У затворному апараті 1 за температури в діапазоні 50—80°C здійснюється оцукрювання крохмалю та утворюється заторна маса. З переходом останньої у вакуумну камеру 5 відбувається частковий фазовий перехід на рівні адиабатного кипіння з руйнуванням клітинних і міжклітинних структур солоду. Через нижній затвор вакуумної камери заторна маса потрапляє у фільтраційний апарат 2, в якому здійснюється фільтрація мутного суслу, прозоре сусло стікає у сушловарильний апарат 4, де воно кип'ятиться з хмелем для досягнення необхідних технологічних показників.

Утворювана в сушловарильному апараті вторинна пара подається в калорифер-нагрівач 7, в який повітрорудною машиною 6 подається зовнішнє по-

вітря. В результаті взаємодії повітря нагрівається і подається системою подавання повітря 8 у підситовий простір фільтраційного апарата, рівномірно розподіляючись по площі його поперечного перерізу. Таке продування дробини гарячим повітрям забезпечує її сушіння в паралельному процесі з варінням суслу за рахунок використання потенціалу вторинної пари.

Висушена дробина механічно вивантажується з фільтраційного апарата за допомогою мішалки шару дробини. Переваги реалізації такої системи: мінімальна кількість обладнання для доукомплектації, яка обмежується калорифером-нагрівачем та повітродувною машиною. Важливо також, що енергозабезпечення здійснюється за рахунок потенціалу вторинної пари сушловарильного апарата навіть у тих випадках, коли вона після термокомпресії використовується для процесу випарювання. Таке сполучення технології сушіння дробини і регенеративного використання вторинної пари на потреби сушловарильного апарата дає змогу ліквідувати відомий недолік 30-відсоткового надлишку вторинної пари, що не вкладається в рамки регенерації [6].

Наразі ідея використання потенціалу вторинної пари сушловарильних апаратів знайшла розповсюдження в оснащенні останніх рекуперативними конденсаторами, системами механічної або термокомпресії і разом з впровадженням попередніх пропозицій створює завершену систему використання вторинних енергоматеріальних ресурсів.

Висновки

Особливості технологічних вимог до перебігу процесів варильних відділень пивзаводів, їхня кількість і послідовність виконання приводять до висновку про відносну складність оптимізації несинхронних операцій. Так, варіння заторів, фільтрація, варіння пивного суслу та його охолодження організовані окремими операціями без спроб поєднання їхніх енергетичних потенціалів. При цьому недоліки процесів фільтрації заторів у зв'язку з їх промиванням перекладаються на операцію варіння зі збільшенням випарів.

Виконаний аналіз цих співвідношень вказує на можливість мінімізації економічних витрат за показниками вилучення екстракту й енерговитратами. Удосконалення системи досягається на стадіях передфільтраційної обробки заторів і варіння суслу.

Проведення процесу сушіння дробини паралельно з варінням суслу доцільно для поєднання можливостей фільтраційного та сушловарильного апаратів.

Термодинамічна оцінка енергетичних імпульсних впливів вакуумування заторної маси в режимі транспортування за показниками потужності вказує на перспективи їх застосування.

Література

1. Бут С. А. Удосконалення процесів і обладнання у виробництвах солодів і пива. Київ: Кондор-Видавництво, 2016. 262 с.
2. Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Бут С. А., Степанець О. І. Замкнуті енергетичні контури в харчових технологіях. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 1. С. 116—127.

3. Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Степанець О. І., Бут С. А. Термодинамічна оцінка процесів рекуперації вторинних енергетичних ресурсів. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 2, С. 134—143.
4. Бут С. А. Особливості трансформації матеріальних і енергетичних потоків при приготуванні заторів. *Хранение и переработка зерна*. 2015. № 2(191). С. 52—55.
5. Бут С. А., Бондар В. І., Соколенко А. І. Термодинамічні співвідношення підготовки і фільтрації пивних заторів. *Хранение и переработка зерна*. 2015. № 3—4(192). С. 84—86.
6. Кунце В. Технология солода и пива. Пер. с нем. С.-Петербург: Профессия, 2001. 912 с.
7. Патент 97895 UA, МПК C12C 7/00, F04F 5/20 (2006.01) Варильний агрегат для пива / Соколенко А. І., Козодой Ю. А., Піддубний В. А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № a201013165; заявл. 05.11.2010; опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6, 2012 р.
8. Патент 30540 UA, МПК (2006) C12C 13/00 Варильний агрегат для пива / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Блаженко С. І., Васильківський К. В.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № u200713555; заявл. 04.12.2007; опубл. 25.02.2008, Бюл. № 4, 2008 р.
9. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива: підруч. для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за спец. «Технологія бродил. вир-в і виноробства». Київ: Урожай, 1999. 544 с.
10. Буляндра О. Ф. Збірник задач з технічної термодинаміки. Київ: НУХТ, 2015. 394 с.

STUDY ON TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR BAKING FERMENTED RYE-WHEAT BREADS USING COMBI-STEAM OVENS

I. Kirik, T. Gurinova, A. Kirik, V. Celech

Mogilev State University of Food Technologies, Country Belarus, City Mogilev

Key words:

*Baking dough piece
Rye-wheat breads
Fermented weld
The duration of baking
Air-vapour mix
Combi-steam ovens*

Article history:

Received 30.04.2020
Received in revised form
12.05.2020
Accepted 25.05.2020

Corresponding author:

I. Kirik
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Analysis of possible ways to improve effectiveness of fermented rye-wheat dough baking process in the air-vapour medium using new generation of heating apparatus with periodic cycle performance with convection within heating medium (rotary furnaces, combi-steam ovens...) is provided. The process of non-standard heat conductivity has been investigated within a dough piece made from fermented rye-wheat dough.

Analysis of design characteristics of bread ovens has revealed some benefits of rotary furnaces in modern processes in baking industry.

In order to do experimental investigation of temperature fields within the dough piece being baked an experimental unit has been worked out. Also, it can be used to determine energy capacity of the baking process. This unit is made up of combi-steam oven of injector type.

It has been found that the best parameters for the process of baking fermented rye-wheat bread are the temperatures not exceeding 200—210°C as it makes the process be less energy consuming and favourable in terms of turning dough into soft bread.

With the help of program Statgraphics Plus for Window 5.0 as well as technological organization of rotatable and orthographic central-compositional planning of a complete factor experiment 3² optimal values have been established for steam - convection process at the beginning and at the end of the baking process, the 3^d and 1st minutes correspondently.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫПЕЧКЕ ЗАВАРНЫХ РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ ХЛЕБОВ В ПАРАКОНВЕКЦИОННЫХ ПЕКАРНЫХ КАМЕРАХ

И. М. Кирик, Т. А. Гуринова, А. В. Кирик, В. И. Селех

Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», Республика Беларусь, г. Могилев

В статье проведен анализ возможности повышения эффективности процесса выпечки хлебобулочных изделий из ржано-пшеничного теста в паровоздушном пространстве тепловых аппаратов периодического действия нового поколения с вынужденным движением греющей среды (ротационных печах, пароконвекционных аппаратах и т. п.). Исследован процесс нестационарной теплопроводности в теле выпекаемой тестовой заготовки из ржано-пшеничного теста, полученного на сброженной заварке.

Анализ конструктивных особенностей хлебопекарных печей показал преимущества использования ротационных печей в современном хлебопекарном производстве.

Для проведения экспериментальных исследований температурных полей в выпекаемой тестовой заготовке, а также для определения энергоемкости процесса была разработана экспериментальная установка, основу которой составляет пароконвекционный аппарат инжекторного типа.

Установлено, что наилучшими параметрами выпечки ржано-пшеничных подовых хлебобулочных изделий, приготовленных на сброженных заварках, являются температура воздуха в камере не выше 200—210°C, что делает процесс менее энергоемким и достаточно эффективным с точки зрения перехода теста в хлебный мякиш.

С помощью программы Statgraphics Plus for Windows 5.0 и методики организации и проведения рототабельного и ортогонального центрально-композиционного планирования полного факторного эксперимента 3^2 установлены оптимальные значения пароувлажнения в начале и в конце выпечки — 3 и 1 минута соответственно.

Ключевые слова: выпекаемая тестовая заготовка, ржано-пшеничный хлеб, сброженная заварка, продолжительность выпечки, паровоздушная смесь, пароконвекционный аппарат.

Постановка проблемы. В рационе современного человека особое место среди продуктов питания занимает заварной хлеб из ржаной муки и смеси ее с пшеничной. В отличие от массовых сортов хлеба, основной стадией тестоприготовления для заварных ржано-пшеничных хлебов является получение заварки. Заварка представляет собой полуфабрикат, полученный путем смешивания части ржаной муки, рецептурного количества солода с водой, нагретой до 95—97°C, и доведение смеси до температуры клейстеризации крахмала. При этом повышается гидрофильность теста, происходит поглощение крахмалом большого количества воды, сопровождающееся набуханием, увеличением в объеме в несколько раз, разрушением нативной структуры крахмального зерна. В за-

варке при её осахаривании накапливаются декстрины и простые сахара, которые придают определенную вязкость тесту, корочке насыщенный цвет, положительно влияют на сочность мякиша.

Изучение работы хлебопекарных предприятий показало, что производство хлеба, как правило, осуществляется с различными технологическими перерывами. Это обуславливает дискретный режим производства и отражается на мобильности и гибкости работы хлебопекарных печей. Учитывая специфику потребления хлеба, которая требует организации производства свежее выпеченной продукции, в отрасли получили широкое распространение ротационные печи малой производительности с конвективным обогревом. К достоинствам таких печей относятся: простота в обслуживании при загрузке и выгрузке пекарной камеры; высокий энергетический КПД; минимальное загрязнение окружающей среды; возможность использования конструкции с различными энергоносителями (электроэнергия, газ, жидкое топливо); быстрая продолжительность нагрева печи; несложное регулирование температуры пекарной камеры; собственный источник образования пара. Малая температурная инерционность ротационных печей, по сравнению с тоннельными и люлечно-подиковыми печами, обеспечивает быстрый переход с одного вида изделий на другой, что расширяет ассортимент выпускаемой предприятием продукции. К недостаткам ротационных печей следует отнести достаточно высокий упек, что обусловлено принятой системой принудительной конвекции воздуха в пекарной камере.

В последние годы в Республике Беларусь расширилась тенденция к созданию небольших предприятий и цехов малой мощности с гибкой перестройкой технологического процесса. Такие предприятия, как правило, ориентированы на выпуск широкого ассортимента изделий из пшеничной муки (мелкоштучных булочных и сдобных булочных изделий, изделий из слоеного теста, мучных сладостей и др.), а выпуск ржано-пшеничных хлебобулочных изделий ограничен из-за сложности организации технологического процесса и недостаточного изучения влияния параметров выпечки в ротационных печах на выход и качество этой группы изделий.

Основные закономерности процесса выпечки изучали многие ученые: Л. Я. Ауэрман, А. С. Гинзбург, А. В. Лыков, И. И. Маклюков, В. И. Маклюков, Н. И. Гогоберидзе, В. А. Брызун, А. Т. Лисовенко, А. А. Михелев, С. Е. Walker, В. I. Dobraszczyk и др. Проведенные исследования позволили установить, что для правильной организации этапов выпечки (оптимальный рост объема тестовой заготовки и образование глянца на поверхности; формирование корочки изделия и стабилизация его объема; допекание изделия, завершение процессов образования мякиша и корки) необходима поэтапная регулировка температурных и влажностных режимов пекарной камеры. Большая часть исследований посвящена выпечке хлеба из пшеничной муки. Некоторые авторы анализируют выпечку хлеба из муки ржаной, а также выпечку ржано-пшеничных изделий, полученных на заквасках [1—8]. Данных о параметрах выпечки заварных ржано-пшеничных хлебов в научно-технической литературе недостаточно. Особенности заварного теста, полученного по четырехстадийной технологии на сброженных заварках, будут влиять на комплекс биохимических, микробиологических, коллоидных и теплофизических процессов, протекающих в тестовой заготовке при выпечке, что требует дополнительного изучения процессов теплопроводности в выпекаемой тестовой заготовке.

Цель исследования: оптимизация влияния температурных и влажностных характеристик паровоздушной среды пароконвекционных аппаратов на технологические и потребительские показатели качества заварного ржано-пшеничного хлеба и величину его упека.

Материала и методы. Для выпечки хлебобулочных изделий использовали пароконвекционный аппарат, имитирующий работу ротационной печи. В аппарате имеется возможность в процессе тепловой обработки в любое время изменения температуры теплоносителя, регулирования времени проведения технологического процесса, также в аппарате выполнена инжекторная схема пароувлажнения, которая позволяет достигать задаваемого уровня относительной влажности теплоносителя в рабочей камере при минимальной его тепловой инерционности.

Тесто для ржано-пшеничного хлеба готовили на сброженной заварке по рецептуре хлеба «Болдинский». Количество воды, необходимое для замеса теста, определяли исходя из влажности теста (49,0—50,0%). Замес осуществляли в тестомесильной машине со спиральными рабочими органами в течение 5 минут. Продолжительность брожения теста составило 90—120 минут. Готовность теста определяли по достижении кислотности 7,0—9,0 град. После брожения тесто формовали на куски массой 800 г, 600 г, 400 г шарообразной формы. Отформованные изделия поступали на расстойку в специализированный тепловой шкаф с пароувлажнением «Smeg», в котором поддерживалась температура 35—40°C и относительная влажность воздуха 35—40%. Продолжительность расстойки определяли органолептически. Далее изделия поступали на выпечку в пароконвекционный аппарат, где выпекались при температурах 200°C и 220°C без увлажнения и с увлажнением греющей среды. В процессе выпечки через каждые 5 мин определяли температуру в центре выпекаемой тестовой заготовки с помощью хромель-алюмелевой термопары и температуру поверхности, используя пирометр. Определяли величину dt/dt , характеризующую скорость прироста температуры между двумя соседними значениями температур, зафиксированных в процессе выпечки. Об окончании выпечки судили по достижению температуры в центре тестовой заготовки 96°C.

Результаты исследований. Результаты исследования по влиянию температуры, создаваемой в пекарной камере пароконвекционного аппарата без увлажнения паровоздушной среды, на прогрев выпекаемой тестовой заготовки (ВТЗ) представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Изменения температуры центра ВТЗ (°C) в процессе выпечки при различной температуре воздуха в пекарной камере и без увлажнения паровоздушной среды

Время, мин	Опыт 1 (800г)		Опыт 2 (600г)		Опыт 3 (400г)	
	Температура воздуха в пекарной камере					
	200°C	220°C	200°C	220°C	200°C	220°C
	Температура центра ВТЗ, °C					
1	2	3	4	5	6	7
0	28,0	22,8	25,0	21,6	24,0	21,6
5	28,3	23,6	26,5	24,3	26,2	21,9
10	42,4	25,7	41,7	34,7	60,8	28,6
15	64,9	35,4	62,3	48,0	84,5	43,9
20	84,8	51,4	74,6	65,9	94,5	71,2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
25	94,5	71,5	84,5	84,1	95,7	91,6
30	95,7	85,7	91,6	92,5	96,4	95,4
35	96,6	92,5	96,4	96,0		96,0
40		95,2				
45		96,0				

Установлено, что от температуры, создаваемой в пекарной камере, зависит изменение температурных полей, а, следовательно, и скорость прогрева тестовой заготовки. Часть поступающей в тестовую заготовку тепловой энергии расходуется на преобразования, происходящие в крахмале и в белке. Согласно теории выпечки, в температурном интервале 50—70°C одновременно протекают процессы термической коагуляции белков и клейстеризации крахмала. Основная часть воды, впитанной белками теста при их набухании, переходит к клейстеризующему крахмалу. Эти процессы способствуют образованию мякиша, и они должны начинаться до образования плотного слоя корки на поверхности тестовой заготовки.

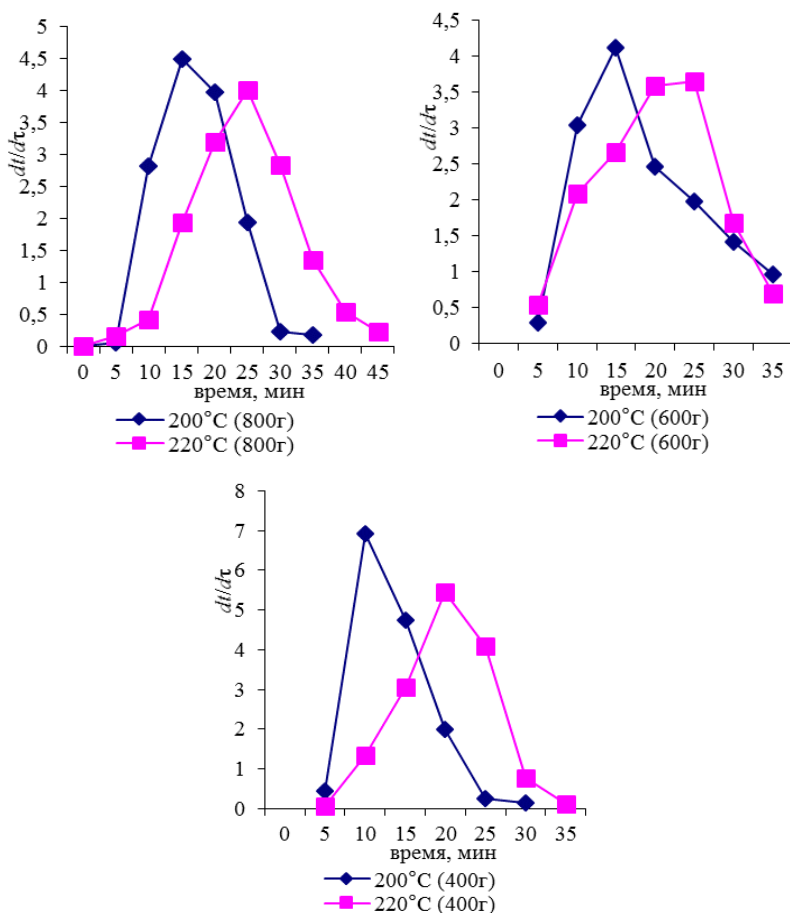


Рис. 1. Изменение скорости роста температур в центре тестовой заготовки в процессе выпечки

При достижении температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки выше 60°C величина dt/dt постепенно уменьшается, и температура в центре начинает изменяться медленнее. В научной литературе отмечается, что в неувлажненной атмосфере пекарной камеры, имеющей температуру выше 200°C , поверхностный слой выпекаемой тестовой заготовки начинает интенсивно прогреваться, быстро теряя при этом влагу. На поверхности вначале образуется тонкая пленка, а при достижении температуры 160°C — достаточно плотная корка, которая препятствует интенсивному перемещению влаги из центральных слоев тестовой заготовки во внешнюю среду пекарной камеры. Это приводит к замедлению процессов, происходящих внутри.

В результате исследований установлено, что температура 160°C в поверхностном слое выпекаемой тестовой заготовки достигается в разное время выпечки и зависит от температуры в пекарной камере. Чем выше температура в пекарной камере, тем раньше достигается температура 160°C в поверхностных слоях, с этого же момента наблюдается уменьшение величины dt/dt . Основные процессы, связанные с формированием мякиша хлеба и приобретения им характерных упруго-эластичных свойств, должны начинаться раньше, до образования плотного слоя корки на поверхности. Так, при температурах 200°C уменьшение происходит после 15 мин выпечки, а при температурах 220°C — после 20 мин выпечки. Процессы, связанные с активными преобразованиями основных компонентов муки (крахмала и белка), наступают позже. Общее время выпечки, а, следовательно, и упек при повышении температуры увеличивается.

Анализируя органолептические показатели качества исследуемых образцов, можно сделать вывод о том, что при выпечке хлеба в неувлажненной пекарной камере температура оказывает существенное влияние на состояние поверхности корки, структуру пористости, цвет и разжевываемость мякиша, вкус и запах хлеба. Поверхность корки характеризовалась как матовая, т. е. без глянца, что значительно ухудшает потребительские характеристики изделия.

Для улучшения качественных характеристик хлебобулочных изделий, придания глянца поверхности, выравниванию пор и неровностей на ней, а также с целью снижения энергозатрат определяли оптимальную продолжительность пароувлажнения пекарной камеры в начальный и конечный периоды выпечки. Исследование проводили на основе центрально-композиционного ротatable-ного ортогонального планирования. Основной уровень и интервалы варьирования управляемых факторов (пароувлажнение в начале выпечки (X_1 , мин); пароувлажнение в конце (X_2 , мин)) определялись с учетом существующих рекомендаций правил проведения технологического процесса. Критериями оценки влияния выбранных факторов на качество готовых изделий служили: удельный объем (Y_1 , $\text{см}^3/100\text{г}$); упек (Y_2 , %); формоустойчивость (Y_3 , Н/Д), бальная оценка (Y_4 , балл).

Исследования показали, что состояние поверхности готовых изделий во многом зависит от интенсивности увлажнения в конце выпечки и ухудшается с увеличением его продолжительности. При увлажнении в конце выпечки в течение 5 мин на поверхности хлебобулочных изделий имелись разрывы корки. Более гладкую поверхность, с равномерным глянцем имел образец с параметрами увлажнения 3 мин в начале и 1 мин в конце выпечки. По вкусу, запаху, структуре мякиша образцы практически не отличались. Формоустойчивость и разжевы-

ваемость также отличались незначительно. В табл. 2 представлены показатели качества готовых изделий для данной серии выпечек.

Таблица 2. Физико-химические показатели качества хлеба, выпеченного при температуре в пекарной камере 200°С и при увлажнении пекарной камеры 60%

№ опыта	Начальное увлажнение, мин	Конечное увлажнение, мин	Удельный объем, см³/100 г	Формоустойчивость	Упек, %	Балльная оценка
1	1	1	206,32	0,37	6,6	55,6
2	3	1	206,47	0,41	7,8	59,0
3	5	1	208,45	0,39	8,1	55,5
4	1	3	204,67	0,41	8,1	56,0
5	3	3	205,38	0,37	8,8	57,0
6	5	3	207,47	0,38	8,3	55,5
7	1	5	203,52	0,39	8,9	53,5
8	3	5	206,82	0,38	9,9	55,4
9	5	5	204,63	0,40	9,7	54,0

Используя данные табл. 2, получали регрессионные модели для отмеченных выше откликов в зависимости от пароувлажнение в начале и в конце выпечки. Адекватность полученных моделей оценивали по критерию Фишера. Влияние факторов на функцию отклика статистически значимо для упека и балльной оценки и не значимо для удельного объема, формоустойчивости. Самые большие упеки имели хлебобулочные изделия при увлажнении в течении 5 мин в конце выпечки. Самые низкие значения упека наблюдались при пароувлажнении 1 и 3 мин в начале и 1 мин в конце.

Балльная оценка качества готовых изделий комплексно отражает наиболее важные показатели качества хлеба, определяемые органолептическими и объективными методами анализа, и учитывает значимость каждого показателя. Влияние пароувлажнения на балльную оценку представлено на рис. 2.

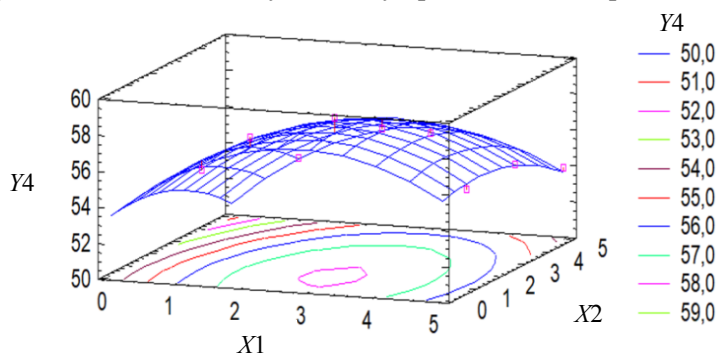


Рис. 2. Влияние пароувлажнения на балльную оценку

По балльной оценке самый высокий балл получил образец, выпекаемый при пароувлажнении 3 мин в начале и 1 мин в конце. Таким образом, установлен рациональный режим пароувлажнения для выпечки ржано-пшеничного заварного хлеба в пароконвекционных пекарных камерах, при котором упек наименьший, качество хлеба наилучшее.

Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований для достижения наилучших показателей качества заварных ржано-пшеничных изделий и снижения удельных энергетических затрат рекомендуются следующие технологические режимы выпечки в пароконвекционных аппаратах:

I период — относительная влажность воздуха 60%, температура воздуха в пекарной камере 200°C, продолжительность периода — 3 минуты;

II период — температура воздуха в пекарной камере 200°C без его увлажнения, продолжительность периода зависит от конкретного наименования изделия.

III период — относительная влажность воздуха 60%, температура воздуха в пекарной камере 200°C, продолжительность периода — 1 минута.

Литература

1. Аношина О., Брызун В., Аднодворцев М. Продолжительность выпечки ржано-пшеничного подового хлеба. *Хлебопродукты*. 2016. № 7. С. 49—51.
2. Брызун В. А., Маклюков В. И., Аднодворцев М. Ф. Новое о закономерностях выпечки хлебобулочных изделий. *Кондитерское и хлебопекарное производство*. 2007. № 5. С. 4—7.
3. Брызун В. А., Аднодворцев М. Ф. Снижение затрат энергии при выпечке хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*. 2010. № 4. С. 64—65.
4. Куцакова В. Е., Фролов С. В., Шкотова Т. В. Расчет времени выпечки хлебобулочных изделий в зависимости от размеров и толщины образованной корки. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2012. № 5—6. С. 76—78.
5. Маклюков В. И., Рогозкин Е. Н., Варюхина О. С. Обоснование температурного режима выпечки формового хлеба в печах различной конструкции. *Кондитерское и хлебопекарное производство*. 2016. № 9—10. С. 39—43.
6. Маклюков В. И. Теплофизические процессы при выпечке хлеба. *Кондитерское и хлебопекарное производство*. 2016. № 5—6. С. 46—49.
7. Совершенствование процесса выпечки хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.01 / И. Е. Ковалева; ГОУВПО «Московский гос. университетпищ. производств». М., 2010. 26 с.
8. Сулимов С. А. Определение рационального режима выпечки ржаного формового хлеба. *Хлебопечение России*. 2010. № 5. С. 14—16.

EXTRUDATE QUALITY OF SOFT WHEAT GRAIN DEPENDING ON VARIETY AND LINE

V. Liubych, V. Zheliezna, O. Yermeeva

Uman National University of Horticulture

Key words:

Culinary quality
Extrudate,
Soft wheat
Variety
Protein

Article history:

Received 21.04.2020

Received in revised form

19.05.2020

Accepted 01.06.2020

Corresponding author:

V. Zheliezna

E-mail:

valieria.voziiian07

@gmail.com

ABSTRACT

The pace of modern life causes many people to be in a constant shortage of time. Fast food products that have become a traditional form of food and are widely used by the population of many countries can help. New developments of such products completely retain the useful properties of the raw materials, do not require special storage conditions and, most importantly, they do not need heat treatment.

Extrusion is one of the most promising and highly efficient technologies for producing healthy food with predefined properties.

The article presents the research results of soft wheat extrudate quality, depending on variety and line. It was found that the odor and taste of unhulled extrudate were strongly expressed (9 points) and did not change depending on variety and line. However, the color of this product changed from brown to light cream with a yellow tint. The highest culinary assessment was got by the extrudate obtained from the unhulled grain of wheat lines obtained by *Triticum aestivum/Triticum spelta* hybridization. This indicator was 8.2—8.7 points. Wheat varieties had lower culinary assessment by 15—20%.

It was found that the highest boiling coefficient was obtained from unhulled grain extrudate — 4.8—6.6 rather than from hulled one — 4.6—6.3. This grain extrudate indicator of the lines obtained by *Triticum aestivum/Triticum spelta* hybridization was the highest — 6.0—6.3 of hulled grain and 6.3—6.6 of unhulled one or more by 15—18% compared to Vdala standard variety (4.7—4.9).

Fractional protein composition also varied in a wide range, depending on variety and line. Thus, the fraction of gliadin+glutenin ranged from 43 to 81%, and leucosin+globulin — from 19 to 32%. Soft wheat varieties of Vdala, Victoria Odessa, Myrkhad and LPP 1314 lines contained the most gluten-forming proteins — 75–86%. The content of gliadin + glutenin fraction of other varieties and lines was below control — 68—75%. Therefore, for the production of high-quality extrudate it is necessary to use grain and grits of soft wheat No. 1 of varieties Vdala, Lupus and lines received by hybridization of *Triticum aestivum/Triticum spelta*.

ЯКІСТЬ ЕКСТРУДАТУ ІЗ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ ТА ЛІНІЇ

В. В. Любич, В. В. Желєзна, О. А. Єрємєєва

Уманський національний університет садівництва

Темп сучасного життя змушує багатьох людей перебувати в умовах постійного дефіциту часу. Допомогти при цьому можуть продукти швидкого приготування, які стали однією з традиційних форм харчування й широко використовуються населенням багатьох країн. Нові розробки таких продуктів повністю зберігають корисні властивості вихідної сировини, не вимагають спеціальних умов зберігання і, що найголовніше, їм не потрібне теплове оброблення.

Екструзія — одна з найбільш перспективних і високоефективних технологій отримання продуктів оздоровчого харчування з попередньо заданими властивостями.

У статті наведено результати досліджень якості екструдату із зерна пшениці м'якої залежно від сорту та лінії. Встановлено, що запах і смак екструдату з нелущеного зерна був сильно вираженим (9 балів) і не змінювався залежно від сорту та лінії. Проте колір цього продукту змінювався від коричневого до світло-кремового з жовтим відтінком. Найвищу кулінарну оцінку мав екструдат, отриманий з нелущеного зерна гібридизованих ліній пшениці *Triticum aestivum/Triticum spelta*. Цей показник становив 8,2—8,7 бала. У сортів пшениці кулінарна оцінка була нижчою на 15—20%.

Встановлено, що найвищий коефіцієнт розварювання отримано з екструдату нелущеного зерна — 4,8—6,6 проти 4,6—6,3 в екструдату з лущеного зерна. Цей показник екструдату зерна ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*, був найвищим — 6,0—6,3 з лущеного і 6,3—6,6 з нелущеного зерна. Це на 15—18% більше порівняно із сортом-стандартом Вдала (4,7—4,9).

Фракційний склад білка також змінювався в широкому діапазоні залежно від сорту та лінії. Так, фракція гліадин+глютенін становила від 43 до 81%, а лейкоцин+глобулін — від 19 до 32%. Найбільше клейковинотворювальних білків містило зерно сортів пшениці м'якої Вдала, Вікторія одеська, Мирхад і лінії LPP 1314 — 75—86%. У решти сортів і ліній вміст фракції гліадин+глютенін був нижчим за контроль — 68—75%. Отже, для виробництва високоякісного екструдату необхідно використовувати зерно і крупу з пшениці м'якої № 1 сортів Вдала, Лукус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*.

Ключові слова: якість, екструдат, пшениця м'яка, сорт, лінія.

Постановка проблеми. Основні напрямки розвитку харчової індустрії у сфері здорового харчування України передбачають розроблення технологій нових безпечних продуктів загального та спеціального призначення [1; 2].

Такі продукти повинні сприяти збереженню та зміцненню здоров'я, запобігати захворюванням, пов'язаним з неправильним харчуванням і забрудненістю навколишнього середовища [2; 3].

Темп сучасного життя змушує багатьох людей перебувати в умовах постійного дефіциту часу. Допомогти при цьому можуть продукти швидкого приготування, які стали однією з традиційних форм харчування й широко використовуються населенням багатьох країн. Нові розробки таких продуктів повністю зберігають корисні властивості вихідної сировини, не вимагають спеціальних умов зберігання і, що найголовніше, їм не потрібне теплове оброблення [3; 4].

В Україні популярність продуктів харчування швидкого приготування зростає з кожним роком. Понад 40% населення вживають концентрати, зокрема сухі сніданки й комбіновані продукти, які виготовляють методом екструзії. Асортимент таких продуктів із корисними властивостями досі залишається обмеженим [3].

Екструзія — одна з найбільш перспективних і високоефективних технологій отримання продуктів оздоровчого харчування з попередньо заданими властивостями [5]. Екструзійна обробка приводить до зміни складу і властивостей речовин, які визначають харчову та біологічну цінність продуктів — білків, вуглеводів, жирів і вітамінів [6].

Найбільш придатною сировиною для виробництва екструдованих продуктів є зернові продукти (кукурудзяна, рисова, вівсяна, пшенична крупи). Це обумовлено тим, що зернові є крохмалемісткою сировиною, а крохмаль — основний компонент, який впливає на технологічні умови обробки й якість екструдату та важливе джерело енергії для людини [7].

Екструзійна обробка приводить до значного зростання засвоюваності готових продуктів, насамперед їхнього основного компонента — крохмалю. Пояснюється це тим, що в результаті глибокого термомеханічного впливу змінюються фізико-хімічні властивості крохмалю (знижується молекулярна маса, зростає атаквальна ферментативна здатність, що пов'язано з руйнуванням кристалічної структури крохмальних зерен). Крім того, крохмаль як основний компонент рослинної сировини в процесі екструзії набуває термопластичних властивостей, що відіграє провідну роль у здійсненні процесу екструдуювання, а також у структуроутворенні готового екструдату [2; 7].

Основні переваги екструзійної технології — в гнучкості технологічних схем, високій продуктивності, низькій собівартості продукції. Якість продуктів перероблення зерна також залежить від його біохімічного складу та вмісту оболонки [8], тому дослідження якості екструдованих зернових продуктів залежно від сорту пшениці є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розвинених країнах виробництво продуктів екструзійної технології з кожним роком зростає. У США виробляється та продається продуктів типу готових сніданків на суму понад 2 млрд дол. на рік при щорічному зростанні на 3% [7; 9].

У теорії екструзійного процесу прийнято, що його базові параметри сприяють реалізації необхідного технологічного впливу на оброблюваний об'єкт.

Встановлено [10—12], що короткотемпературний процес не тільки зменшує втрати цінних харчових і біологічно активних речовин, але й покращує органолептичні, фізико-хімічні, структурно-механічні властивості крахмалевмісної сировини, а також харчову і біологічну цінність. Гідротермічна і механічна обробка зернової сировини є найбільш поширеним методом зміни структури крохмалю [13]. Встановлено, що оброблена ячмінна крупа порівняно з перловою крупою має більшу біологічну цінність і кращі органолептичні якості [14]. Проте в дослідженнях не вивчалось питання формування кулінарної якості екструдату залежно від сорту культури і вмісту оболонок.

П. К. Вороніною встановлено, що екструзійна обробка білків рослинного походження підвищує їхню харчову цінність і покращує збереженість, оскільки відбувається часткова інактивація ферментів, що погіршують смак і знижують якість продукту при зберіганні [15].

Дослідники вважають включення в раціон людини продуктів, збагачених харчовими волокнами і мінеральними речовинами зернових екструдатів, найбільш доступним способом масового поліпшення забезпечення населення необхідними нутрієнтами. З огляду на це застосування екструдованих зернових продуктів (екструдати пшениці, рису, кукурудзи, жита, ячменю) вважається одним із перспективних напрямків функціонального збагачення харчових продуктів [16]. Проте в цих дослідженнях також не наведено формування кулінарної якості екструдованого продукту.

За результатами досліджень вчених можна зробити висновки про те, що вплив екструзійної обробки на зернову сировину призводить до підвищення харчової цінності, адже інактивуються антипоживні речовини, знищуються мікроорганізми, а реакція зменшення активності вітамінів мінімізується [17; 18].

Отже, в літературі висвітлено питання формування якості екструдату порівняно з сировиною, з якої його отримують. Зовсім не висвітлено питання формування якості екструдату залежно від сорту пшениці, оскільки зерно може мати різні технологічні й біохімічні властивості, що впливає на якість кінцевого продукту. Не досліджувалось питання чинників, які визначають кулінарну якість екструдату, особливо залежно від вмісту оболонок. Крім цього, у виробництві поширюються сорти пшениці, отримані гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*. Екструдовані продукти зерна цих сортів також не вивчалися.

Метою дослідження є вивчення питання якості екструдату із лущеного та нелущеного зерна пшениці м'якої залежно від сорту та лінії.

Матеріали і методи. Експериментальну частину дослідження проводили в лабораторії «Оцінювання якості зерна та зернопродуктів» кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва. Для досліджень взято зерно сортів пшениці м'якої Вдала (st) (UKR), Мирхад (UKR), Вікторія одеська (UKR), Щедра нива (UKR), Лупус (DEU) та ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta* LPP 2793,

LPP 1314, LPP 3118, Р 7 (UKR). Сорти вирощували за однакових умов у Правобережному Лісостепу.

Екструдований продукт (продукт швидкого приготування) отримували з лущеного (індекс лущення 14—16%) та нелущеного зерна в лабораторному експандері за температури 130—150°C. Індекс лущення залежав від вмісту оболонки. Виготовлення екструдату проводили за вдосконаленою методикою, описаною в патенті на корисну модель «Спосіб отримання круп'яних продуктів швидкого приготування із зерна пшениці та тритикале» (№ 118058) [19], а кулінарне оцінювання екструдованого продукту — «Спосіб кулінарної оцінки екструдату з круп'яних продуктів тритикале та пшениці» (№ 08019) [20] (табл. 1).

Коефіцієнт розварювання екструдованого продукту визначали за формулою [21]:

$$K = \frac{V_k}{V_{кр}},$$

де V_k — об'єм після приготування, см^3 ; $V_{кр}$ — об'єм сухого продукту, см^3 .

Дослідження мали три аналітичні повторення. Результати аналітичних повторювань обробляли методами описової статистики за допомогою програм Microsoft Excel 2010 та STATISTICA 10. Під час проведення дисперсійного аналізу підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення коефіцієнта « p », який показував імовірність відповідної гіпотези. У випадках, коли $p < 0,05$, «нульова гіпотеза» спростовувалась, а вплив чинника був достовірним. Рівень коефіцієнта варіювання визначали за таким групуванням: 0—10% — слабе варіювання, 10—20% — помірне, 20—40% — середнє, 40—60% — високе, $\geq 60\%$ — дуже високе [22; 23]. Для оцінювання міцності зв'язку між показниками, що вивчалися, використовували шкалу R. E. Chaddock [24], яка за величини коефіцієнта кореляції 0,1—0,3 — слабка, 0,3—0,5 — помірна, 0,5—0,7 — істотна, 0,7—0,9 — висока, 0,9—0,99 — дуже висока.

Таблиця 1. Кулінарна оцінка екструдату зерна тритикале та пшениці

Показник	Бал				
	9	7	5	3	1
1	2	3	4	5	6
Колір	світло-кремовий, із жовтим відтінком або без нього	злегка темніший або світліший, кремовий	кремовий, із світло-коричневим відтінком	коричневий, світло сірий	темно коричневий або темно сірий
Запах	сильно виражений	виражений	слабо виражений	відсутній, злегка змінений	нетиповий, із сильно вираженим стороннім запахом

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Смак	сильно виражений	виражений	слабо виражений	відсутній	нетиповий, із сильно вираженим стороннім смаком
Консистенція каші під час розжовування	дуже ніжна, добре розжовується, без хрусту	досить ніжна, добре розжовується, без хрусту	жорсткувата, трохи грудкується, із слабким хрустом	жорстка, грудкується, із хрустом	дуже грудкується, із сильним хрустом, сильно жорстка

Оскільки дегустаційна оцінка може мати суб'єктивний характер, важливим чинником є показник компетентності комісії. Для визначення компетентності комісії використано методику Е. П. Голубкова [25] з модифікаціями. До складу комісії, що проводила кулінарне оцінювання круп'яних продуктів, було включено три експерти. Загальна компетентність комісії становила 82 бали, тому можна стверджувати, що компетентність комісії була дуже доброю.

За допомогою статистичного оброблення методами непараметричної статистики доведено, що твердження експертів збігалися, оскільки $p(0,00) \leq 0,05$. Крім цього, твердження були узгоджені, оскільки коефіцієнт конкордації (0,99517) був більшим за скореговане його значення (0,99514). Це зумовлює можливість проведення подальшого статистичного оброблення результатів роботи комісії.

Викладення основних результатів дослідження. Дослідженнями встановлено, що запах і смак екструдату з нелущеного зерна був сильно вираженим (9 балів) і не змінювався залежно від сорту та лінії (табл. 2).

Таблиця 2. Кулінарна оцінка екструдату із зерна пшениці м'якої залежно від сорту, бал

Сорт, лінія	Показник							
	Запах		Колір		Смак		Консистенція під час розжовування	
	$\bar{x} \pm S_x$	$V, \%$	$\bar{x} \pm S_x$	$V, \%$	$\bar{x} \pm S_x$	$V, \%$	$\bar{x} \pm S_x$	$V, \%$
Вдала (st)	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	5,3 $\pm$ 0,6	10,8	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Мирхад	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	3,3 $\pm$ 0,6	17,3	8,7 $\pm$ 0,6	7,9	5,3 $\pm$ 0,6	10,8
Вікторія одеська	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	3,3 $\pm$ 0,6	17,3	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	7,3 $\pm$ 0,6	7,9
Щедра нива	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	3,3 $\pm$ 0,6	17,3	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	7,3 $\pm$ 0,6	7,9
Лупус	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	5,3 $\pm$ 0,6	10,8	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
LPP 2793	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	7,3 $\pm$ 0,6	7,9	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
LPP 1314	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
LPP 3118	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Р 7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7

Примітка: $p=0,003$.

Проте колір цього продукту змінювався від коричневого (3,3 бала за $V=17,3\%$) до світло-кремового з жовтим відтінком (8,7 бала за $V=6,7\%$). При цьому слід відзначити, що колір екструдату із зерна ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*, мав світло-кремовий відтінок — 8,7 бала за $V=6,7\%$. Екструдат із нелущеного зерна цих сортів і ліній мав також дуже ніжну консистенцію — 8,7 бала за $V=6,7\%$. Консистенція екструдату, отриманого із зерна сорту Мирхад була з відчутним хрустом, який зумовлено вищим вмістом оболонки — 5,3 бала. Цей показник у сортів Вікторія одеська та Щедра нива був на рівні 7,3 бала, проте істотно нижче порівняно зі стандартом (сорт Вдала). Слабке та помірне варіювання свідчить про високу достовірність результатів аналізування продукту членами дегустаційної комісії.

Отже, для виробництва екструдату з нелущеного зерна необхідно використовувати зерно сортів пшениці озимої Вдала, Лупус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*.

Застосування лущення зерна пшениці сприяло покращенню консистенції під час розжовування екструдату сортів Мирхад, Вікторія одеська та Лупус — до 8,7 бала за $V=6,7\%$ (табл. 3).

Таблиця 3. Кулінарна оцінка екструдату із крупи № 1 пшениці м'якої залежно від сорту, бал

Сорт, лінія	Показник							
	Запах		Колір		Смак		Консистенція під час розжовування	
	$x \pm S_x$	$V, \%$	$x \pm S_x$	$V, \%$	$x \pm S_x$	$V, \%$	$x \pm S_x$	$V, \%$
Вдала (st)	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	5,7 $\pm$ 0,6	12,4	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Мирхад	7,3 $\pm$ 0,6	7,9	4,7 $\pm$ 0,6	12,4	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Вікторія одеська	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	4,7 $\pm$ 0,6	12,4	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Щедра нива	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	4,7 $\pm$ 0,6	12,4	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Лупус	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	6,7 $\pm$ 0,6	12,4	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
LPP 2793	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,0 $\pm$ 0,6	8,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
LPP 1314	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
LPP 3118	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7
Р 7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7	8,7 $\pm$ 0,6	6,7

Примітка: $p=0,003$.

Колір екструдату сортів Вдала, Вікторія одеська, Мирхад, Лупус, Щедра нива і лінії LPP 2793 підвищувався до 4,7—8,0 балів за $V=8,7—12,4\%$. Запах екструдату сорту Мирхад після лущення зерна був на 16% нижчим порівняно з нелущеним. Очевидно, що лущення зерна цього сорту сприяло видаленню ароматичних сполук з оболонками. У результаті запах екструдату був слабо вираженим. Запах і смак решти досліджених сортів і ліній не змінювався порівняно з нелущеним зерном. Цей показник був високим — 8,7 бала за $V=8,7—6,7\%$.

Результати досліджень свідчать, що найвищу кулінарну оцінку мав екструдат, отриманий з нелущеного зерна ліній пшениці, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum*/*Triticum spelta* (рис. 1). Цей показник становив 8,2—8,7 бала. У сортів пшениці кулінарна оцінка була нижчою на 15—20%.

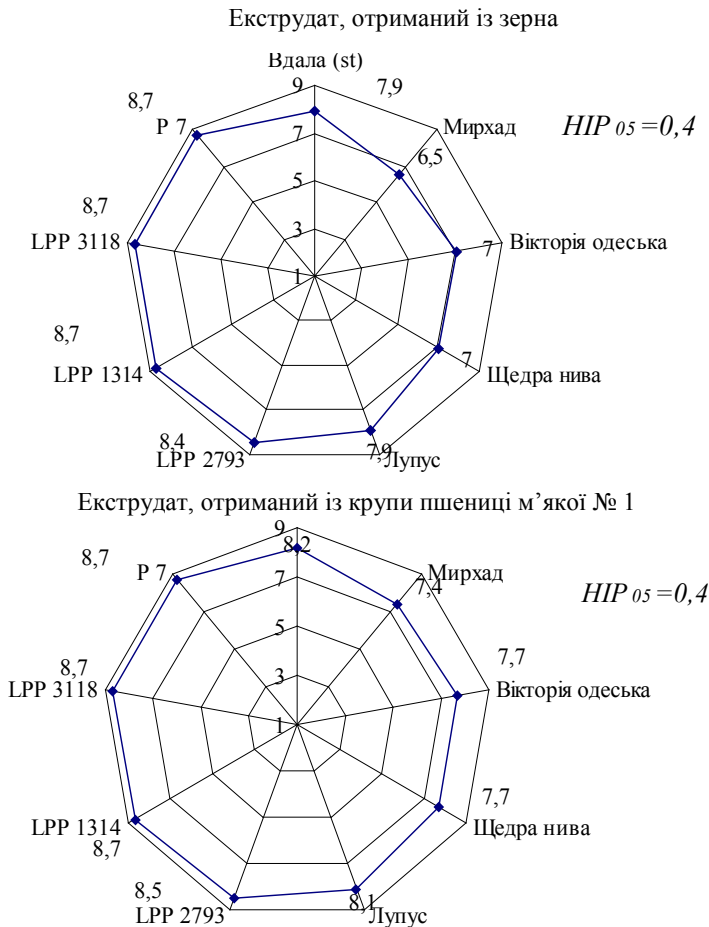


Рис. 1. Загальна кулінарна оцінка екструдату із пшениці м'якої залежно від сорту, бал

Вважається, що загальна кулінарна оцінка з показником 8,0—9,0 балів — дуже висока, 6,6—8,0 — висока, 5,4—6,6 — середня, 4,0—5,4 — низька, <4,0 балів — дуже низька [25].

Отже, екструдат із нелущеного зерна ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum*/*Triticum spelta*, має дуже високу оцінку. Екструдат сортів пшениці озимої — високу. Загальна кулінарна оцінка екструдату, отриманого з крупи № 1 вища на 4—13% у сортів пшениці озимої. Цей показник у ліній пшениці був на рівні нелущеного зерна — 8,4—8,7 бала. Дуже високу оцінку мав екструдат сортів пшениці озимої Вдала та Лупус і ліній, отриманих гібридизацією.

Отже, для виробництва екструдату необхідно використовувати крупу з пшениці м'якої № 1 сортів Вдала, Лупус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*, оскільки вони мають найвищу його якість.

Важливим показником, який характеризує якість екструдату, є коефіцієнт розварювання (табл. 4).

Таблиця 4. Коефіцієнт розварювання екструдату з лущеного та нелущеного зерна пшениці залежно від сорту

Сорт, лінія	Коефіцієнт розварювання екструдату з			
	лущеного зерна		нелущеного зерна	
		до st, ±		до st, ±
Вдала (st)	4,7	-0,5	4,9	-0,7
Мирхад	4,6	-0,6	4,8	-0,8
Вікторія одеська	5,1	-0,1	5,5	-0,1
Щедра нива	5,3	0,1	5,5	-0,1
Лупус	5,6	0,4	5,8	0,2
Р 7	6,0	0,8	6,3	0,7
LPP 1314	6,1	0,9	6,5	0,9
LPP 2793	6,2	1,0	6,6	1,0
LPP 3118	6,3	1,1	6,6	1,0
HIP ₀₅	0,3	—	0,4	—

Примітка: $p=0,003$.

Достатнє бубнявіння такого продукту сприяє формування доброї консистенції під час приготування. Встановлено, що найвищий коефіцієнт розварювання отримано з екструдату нелущеного зерна — 4,8—6,6 проти 4,6—6,3 в екструдату з лущеного зерна. Цей показник екструдату зерна ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*, був найвищим — 6,0—6,3 з лущеного і 6,3—6,6 з нелущеного зерна або більше на 15—18% порівняно із сортом-стандартом Вдала (4,7—4,9).

Попередніми дослідженнями встановлено, що, зазвичай, гліадин і глютенін білка пшениці визначають якість готового продукту. Якість глютеніну впливає на властивості крупи під час варіння й покращує кулінарну оцінку готового продукту. Проте цей зв'язок існує не завжди, оскільки фракційний склад білка сортів пшениць різний [26; 27].

Фракційний склад білка також змінювався в широкому діапазоні залежно від сорту та лінії (табл. 5).

Таблиця 5. Вміст фракцій білка в зерні різних сортів і ліній пшениці, %

Сорт, лінія	Вміст фракцій			
	гліадин+глютенін	± до st	лейкозин+глобулін	± до st
Вдала (st)	77	6	23	-6
Щедра нива	70	-1	30	1
Лупус	71	0	29	0
Вікторія одеська	78	7	22	-7
Мирхад	81	10	19	-10
Р 7	68	-3	32	3
LPP 2793	70	-1	30	1
LPP 3118	71	0	29	0
LPP 1314	75	4	25	-4
HIP ₀₅	4	—	2	—

Так, фракція гліадин+глютенін становила від 43 до 81%, а лейкозин+глобулін — від 19 до 32%. Найбільше клейковиноутворювальних білків містило зерно сортів пшениці м'якої Вдала, Вікторія одеська, Мирхад і лінії LPP 1314 — 75—86%. У решти сортів і ліній вміст фракції гліадин+глютенін був нижчим за контроль — 68—75%.

Вміст суми лейкозину та глобуліну змінювався обернено пропорційно клейковиноутворювальним білкам. Так, найвищий їхній вміст мало зерно сортів пшениці м'якої Щедра нива, Лупус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*.

Встановлено, що на коефіцієнт розварювання впливає вміст білка та фракція гліадин+глютенін. Між коефіцієнтом розварювання екструдату та вмістом білка встановлено істотний кореляційний зв'язок — $r = 0,66 \pm 0,01$, а з фракцією білка гліадин+глютенін — високий зв'язок ($r = 0,76 \pm 0,01$). Ця залежність описується таким рівнянням регресії: $y = 0,1975x + 3,4166$, де y — коефіцієнт розварювання екструдату; x — вміст фракції білка гліадин+глютенін, % (рис. 2).

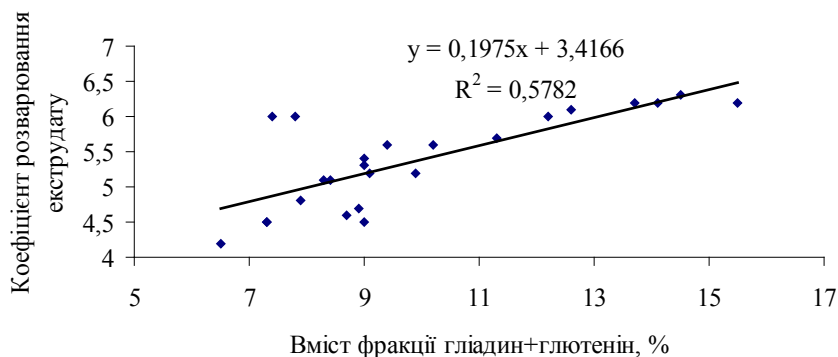


Рис. 2. Кореляційна залежність між вмістом фракції білка гліадин+глютенін і коефіцієнтом розварювання екструдату

Отже, досліджено формування кулінарної якості екструдату зерна нових сортів і ліній пшениці. Доведено достовірний вплив чинника «сорт» на якість екструдованого продукту. Вміст фракції білка гліадин+глютенін також змінювався залежно від сорту пшениці, що вплинуло на коефіцієнт розварювання. Встановлено, що лушення зерна пшениці впливає на колір і консистенцію під час розжовування. Доцільність проведення лушення залежить від вмісту оболонки у зерні пшениці. Високий вміст білка та нижчий вміст оболонки у зерні сортів Вдала, Лупус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*, надає можливість використовувати його для виробництва екструдату без лушення.

Для виробництва високоякісного екструдату необхідно використовувати зерно і крупу з пшениці м'якої № 1 сортів Вдала, Лупус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що якість екструдату достовірно змінюється залежно від сорту пшениці. Формування вищої якості такого продукту сприяє підвищення вмісту білка в зерні. Лушення зерна най-

більше впливає на колір і консистенцію під час розжовування. Колір і смак або не змінюються, або змінюються неістотно. За кулінарною якістю та коефіцієнтом розварювання зерно та крупу з пшениці м'якої № 1 сортів Вдала, Лупус і ліній, отриманих гібридизацією *Triticum aestivum/Triticum spelta*, найкраще використовувати для виробництва екструдату.

Література

1. Осокіна Н. М., Осокіна Н. М., Любич В. В., Возіян В. В. Газоутримувальна здатність борошна із зерна спелти залежно від сорту. *Наукові праці національного університету харчових технологій*. 2015. № 5(21). С. 185—190.
2. Васильєва Т. В. Экструзионные продукты. *Пищевая промышленность*. 2003. № 12. С. 6—9.
3. Рудавська Г., Анненкова Н., Інновації у виробництві та асортименті екструдованих продуктів. *Товари і ринки*. 2008. № 1. С. 24—29.
4. Господаренко Г. М., Полторецький С. П., Любич В. В. та ін. Якість крупи швидкого приготування із зерна пшениці спелти залежно від температури екструдкування. *Вісник Уманського НУС*. № 1. 2018. С. 111—117.
5. Егоров Б. В., Мардар М. Р., Бордун Т. В. Формування споживних властивостей харчових продуктів нового покоління шляхом екструзії. *Хранение и переработка зерна*. 2014. Т. 182. № 5. С. 64—67.
6. Курочкин А. А., Шабурова Г. В., Фролов Д. И. Экструдаты из растительного сырья сповышенным содержанием липидов. *Известия СГСА*. 2014. № 4. С. 70—74.
7. Остриков А. Н., Абрамов О. В., Рудометкин А. С. Экструзия в пищевой технологии. СПб.: ГИОРД, 2004. 288 с.
8. Рудась П. Г. Использование экструзии для получения продукта с заданными свойствами. *Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов*. Кемерово. 2007. Вып. 12. С. 112—114.
9. De Pilli T., Carbone B. F., Derossi A. Effects of operating conditions on oil loss and structure of almond snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 2008. Vol. 43. № 3. P. 430—439.
10. Карпов В. Г. Разработка технологии новых видов крахмалопродуктов экструзионным способом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.05. М., 2000. 48 с.
11. Курочкин А. А., Шабурова Г. В., Новиков В. В. Теоретические и практические аспекты экструзионной технологии вливарения. *Нива Поволжья*. 2007. № 1. С. 20—24.
12. Новиков В. В., Курочкин А. А. Анализ рабочего процесса шнекового экструдера. *Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы*: Материалы III Международной научно-практической конф. Пенза, 2005. С. 95—96.
13. Цыбикова Г. Ц., Козлова Т. С., Сновицкая Л. В. Разработка ресурсосберегающей технологии переработки ячменя для продовольственных целей. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2003. № 8. С. 135—137.
14. Господаренко Г. М., Полторецький С. П., Любич В. В., Железна В. В. Якість круп'яних продуктів із зерна пшениці спелти. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2018. Том 2. Випуск 2. С. 29—35.
15. Воронина П. К. Практические перспективы термопластической экструзии крахмал-содержащего зернового сырья в формировании качества продовольственных товаров. *Инновационная техника и технология*. 2015. № 3. С. 5—12.
16. Дерканосова Н., Таганова Н., Гаршина С. Исследование адсорбционных свойств зерновых экструдатов. *Хлебопродукты*. 2008. № 3. С. 41—43.
17. Магомедов Г. О., Брехов А. Ф., Черных В. Я Экструзионная технология пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*. 2003. № 12. С. 10—16.

18. Остриков А. Н. Магомедов Г. О., Дерканосова Н. М. и др. Технология экструзионных продуктов. СПб.: Проспект науки, 2007. 202 с.
19. Спосіб отримання круп'яних продуктів швидкого приготування із зерна пшениці та тритикале: пат. 118058 Україна, МПК А 23L 7/00 / Любич В. В., Новіков В. В., Возіян В. В.; заявник і власник УНУС. № у 2016 13208; заявл. 23.12.2016., чинний з 25.07.2017, Бюл. № 14.
20. Спосіб кулінарної оцінки екструдату із зерна тритикале та пшениці або круп'яних продуктів: пат. 112841 Україна МПК G01N 33/02 / Любич В. В., Господаренко Г. М., Полянецька І. О., Воробйова Н. В., Новіков В. В., Возіян В. В.; заявник і власник УНУС. № у 2016 08014; заявл. 19.07.2016; чинний з 26.12.2016, Бюл. № 24.
21. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. За ред. Ткачик С. О. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 2015. 160 с.
22. Дмитрук Є. А., Любич В. В., Новіков В.В. Фракційний склад та деякі фізичні характеристики нерухомого шару зерна тритикале. *Наукові праці НУХТ*. 2015. № 6. С. 232—236.
23. Царенко М. М., Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Панченко С. М. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології. Суми, 2000. 203 с.
24. Chaddock R. E. Exercises in statistical methods. Houghton, 1952. 166 p.
25. Holubkov E. Marketing research: theory, methodology and practice. Moscow, 1998. 680 p.
26. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О. Вихід і якість круп'яних продуктів із зерна сортів і ліній пшениць. *Вісник Полтавської ДАА*. № 4. 2017. С. 11—18.
27. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Любич В. В., Полянецька І. О. Круп'яні властивості зерна різних сортів і ліній пшениці спельти. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. № 1. С. 12—16.

ENZYMATIC PROTEIN HYDROLYSATES FOR SPECIALIZED FOOD PRODUCTS

L. Avdieieva, H. Dekusha, E. Zhukotskyi

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:

*Enzymatic hydrolysis
Technologies of
hydrolyzed proteins
Enteral nutrition
Bodybuilding supplement
Infant formula*

Article history:

Received 03.04.2020
Received in revised form
16.04.2020
Accepted 13.05.2020

Corresponding author:

L. Avdieieva
E-mail:
tbds_ittf@ukr.net

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of products with hydrolyzed proteins, which are obtained by proteolysis, for various purposes. The importance and seriousness of the problem of providing the population of different categories with high quality protein nutrition, which is easily digested and does not cause allergic reactions, is shown. The rapid development of creating compositions based on protein hydrolysates in the world has been noted. The advantages of using hydrolyzed proteins in the composition of products for special medical purposes, as well as children's and sports nutrition are given here. The urgency of creating domestic technology of products from hydrolyzed proteins in liquid and dry form is noted.

It is determined that the main protein component of nutrition for special purposes is whey hydrolysates. In the production of sport nutrition, hydrolyzed and non-hydrolyzed proteins of animal and vegetable origin are used: hydrolyzed proteins of beef, collagen, non-hydrolyzed soy proteins, casein, etc. Modern hypoallergenic adapted infant formula contain partially or fully hydrolyzed whey proteins as a protein component. Particular attention is paid to the legal question regarding the characteristics of the requirements for the protein composition of the mixtures in the European Union, the USA, Russia and Ukraine. The range of these products at the Ukrainian market is given and famous enzyme preparations are briefly outlined.

The advantages of introducing energy-saving technologies of dry-hydrolyzed protein compositions developed in the Institute of Engineering Thermophysics of Ukraine National Academy of Sciences into the domestic production are shown. Due to the characteristics of the used technological solutions, the products are characterized by a high degree of protein hydrolysis, a balanced composition of essential amino acids and easy assimilation and the technologies are ready for implementation at domestic dairy enterprises. The products have passed successful clinical trials.

ФЕРМЕНТАТИВНІ БІЛКОВІ ГІДРОЛІЗАТИ ДЛЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Л. Ю. Авдєєва, Г. В. Декуша, Е. К. Жукотський

Інститут технічної теплофізики НАН України

Стаття присвячена аналізу продуктів з гідролізованими білками, одержаними на основі ферментного гідролізу різного призначення. Показано важливість і гостроту проблеми забезпечення населення різних категорій повноцінним білковим харчуванням, що легко засвоюється і не викликає алергічних реакцій. Відзначено бурхливий розвиток напрямку створення композицій на основі білкових гідролізатів у світі. Наведено переваги застосування гідролізованих білків у складі продуктів для спеціального медичного призначення, а також дитячого і спортивного харчування. Наголошено на актуальності створення вітчизняних технологій продуктів з гідролізованими білками в рідкій та сухій формах.

Визначено, що основним білковим компонентом харчування для спеціальних медичних цілей є гідролізати молочної сироватки. При виробництві спортивного харчування використовуються гідролізовані й негідролізовані білки тваринного і рослинного походження: гідролізовані білки яловичини, колагену, негідролізовані білки сої, казеїн тощо. Сучасні гіпоалергенні адаптовані суміші для дитячого харчування містять частково або повністю гідролізовані білки молочної сироватки. Наведено асортимент продуктів з гідролізованими білками, що представлені на ринку України. Коротко окреслено відомі ферментні препарати. Особливу увагу приділено правовому питанню щодо особливостей вимог до якості і безпечності продуктів для спеціальних медичних цілей в Україні.

Показано переваги від впровадження на вітчизняному виробництві енергозберігаючої технології композицій з гідролізованим білком у сухій формі, розробленої в Інституті технічної теплофізики НАН України. Завдяки особливостям використаних технологічних рішень продукти характеризуються високим ступенем гідролізу білків, збалансованим складом незамінних амінокислот і легким засвоєнням, а технології готові до впровадження на вітчизняних молочних підприємствах. Продукти пройшли успішні клінічні дослідження.

Ключові слова: *ферментативний гідроліз, технології гідролізованих білків, ентеральне харчування, спортивне харчування, дитячі суміші.*

Постановка проблеми. Аналіз численних публікацій у галузі технології харчування свідчить про стрімке зростання у світі кількості наукових досліджень з питань виробництва ферментативних білкових гідролізатів, а також їх використання у складі спеціалізованих продуктів різного призначення. Їх широко використовують при виробництві лікувального харчування для нутритивної підтримки хворих різної етіології, дитячого та спортивного харчування. Особливо відзначається важливість повноцінного білкового харчування для клінічної медицини при лікуванні різних категорій хворих та дитячого харчування. Застосування спеціально підібраних спеціалізованих сумішей у комплексній терапії

справляє загальний позитивний вплив на клінічний перебіг захворювань, сприяє швидкій нормалізації метаболізму, прискорює період реабілітації тощо [1—4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найважливіших проблем лікувального харчування є забезпечення організму хворого повноцінними білками. Дефіцит білка або порушення його засвоєння призводить до різноманітних функціональних зрушень: порушуються пластичні та відновні процеси, знижується опір організму до інфекційних захворювань. Проблема адекватного забезпечення енергетичних і пластичних потреб організму особливо загострюється для хворих у критичних станах, у перед- і післяопераційному періодах, при опіках, онкологічних захворюваннях, після використання променевої, хіміотерапії та інтенсивного медикаментозного лікування, захворюваннях органів травлення в період загострення. Вже через 24 год без спеціалізованого лікувального харчування повністю вичерпуються запаси організму — спочатку власних вуглеводів, а потім жирів і білків. Наслідками дефіциту білків можуть бути дисфункції роботи органів, значне уповільнення процесу загоєння запалень і реабілітації, зниження опірності організму до інфекцій і підвищення ризику септичних та інфекційних ускладнень. Використання в цих випадках харчування з натуральних продуктів або сумішей, що рекомендуються для дитячого харчування, є недоцільним через їхню незбалансованість і неадекватність потребам дорослого організму. При лікуванні хворих у важких і критичних станах необхідне використання спеціальних продуктів визначеного складу, серед яких важливе місце займають лікувальні суміші на основі гідролізованих білків. Вже науково доведено, що оптимально підібрана дієта з урахуванням етапів лікування забезпечує підтримку енергетичних потреб організму в критичному стані, а часто слугує самостійним і вагомим лікувальним чинником [2; 3; 5].

В Україні вітчизняне виробництво спеціалізованого харчування для нутритивної підтримки хворих в критичних станах відсутнє, а його дефіцит покривається за рахунок імпортування. Тож для нашої країни створення вітчизняної галузі виробництва спеціального лікувального харчування є важливою соціальною і медико-біологічною проблемою, а розроблення технологій продуктів і лікувальних сумішей на основі гідролізованих білків, які легко засвоюються і не потребують додаткових витрат енергії організму на перетравлення, є актуальним завданням.

Важливим також є забезпечення населення якісними продуктами для спортивного харчування [6; 7]. В умовах постійного збільшення попиту частка продуктів українського виробництва є незначною.

Метою дослідження є аналіз існуючого досвіду виробництва і застосування продуктів з ферментативними білковими гідролізатами для лікувального, дитячого та спортивного харчування в Україні та світі задля визначення перспектив розробки відповідних вітчизняних промислових технологій.

Викладення основних результатів дослідження. Аналіз літературних і патентних джерел щодо виробництва лікувального та спортивного харчування свідчить про швидкий розвиток напрямку створення продуктів на основі білкових гідролізатів харчових білків у світі. Це пов'язано з високою ефективністю застосування сумішей з гідролізованим білком при білково-енергетичній недостатності, лікуванні та профілактиці харчової алергії до молочних білків та білків сої, критичних станах, захворюваннях шлунково-кишкового тракту, опіко-

вих та інших станах. З точки зору фізіології харчування білкові гідролізати мають свої переваги і перед кристалічними амінокислотами. На противагу їм суміші із спеціально підібраним складом можуть використовуватися для харчування досить тривалий час [1—3; 5; 8].

Білкові гідролізати являють собою суміш вільних амінокислот і пептидів різної молекулярної маси, одержану в результаті кислотного, лужного або ферментативного розщеплення протеїнів. Утворені суміші, порівняно з нативними білками, характеризуються новими зміненими властивостями — ступенем антигенності, засвоюваності, осмоляльністю, органолептикою, функціонально-технологічними властивостями тощо. Ці зміни залежать від умов проведення протеолізу [1; 2; 9; 10].

Для використання в лікувальному харчуванні найбільш прийнятними є білкові гідролізати, отримані методом ферментативного гідролізу. Перевагою такого методу гідролізу є використання відносно м'яких умов проведення процесу: температури не вище 50—60°C (частіше 34—50°C) й атмосферного тиску. В результаті м'якого впливу на харчові білки практично не відбувається руйнування незамінних амінокислот, в т. ч. триптофану і лізину, а ферментативні білкові гідролізати мають високу біологічну цінність [1; 2; 9; 10]. Особливістю дії протеолітичних ферментів є їхня специфічність стосовно типу пептидного зв'язку, що дає змогу отримувати гідролізати з різним ступенем гідролізу білка. Так, залежно від вибору ферментного препарату для певного виду білкового субстрату та використання раціональних теплотехнологічних режимів процесу можливий направлений протеоліз з отриманням кінцевого продукту заданого молекулярного профілю з відповідними функціонально-технологічними і смаковими властивостями. Залежно від вмісту амінокислот, молекулярної маси поліпептидного фракції, наявності ди-, три- і олігопептидів може бути визначений напрям найбільш ефективного використання білкових гідролізоатів. Вважається, що пептиди з молекулярною масою до 6 кДа не проявляють алергенних властивостей і легко засвоюються організмом, тому їх активно використовують у гіпоалергенних продуктах [4; 9; 10].

Гідролізовані білкові препарати різного ступеня протеолізу й очищення входять до складу сумішей для ентерального і парентерального харчування [5; 8; 9], високобілкових сумішей для спортивного харчування [6; 7], сухих гіпоалергенних сумішей для харчування дітей грудного і раннього віку з алергією молочних білків або білків сої [4; 11], харчових добавок для кондитерських, хлібобулочних, м'ясних, рибних, молочних виробів тощо [10].

Для виробництва сумішей з гідролізованим білком різного призначення використовується різноманітна білкова сировина. Крім молочних білків, це можуть бути білкові продукти з гідробіонтів та відходів їх переробки, вторинна білкова сировина тваринного походження, білки яєць, рослинні білки тощо [1; 2; 9; 10].

Ферментну обробку найчастіше проводять препаратами мікробного (наприклад, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*), рослинного (папаїн, бромелаїн, фіцин) або тваринного походження (трипсин, хімо-трипсин, панкреатин). Ступінь ферментативного гідролізу білків залежить від обраних теплотехнологічних режимів і параметрів проведення процесу [9; 12].

Швидкими темпами розвивається ринок продуктів для нутритивної підтримки, які використовуються в лікувальній медичній практиці, особливо це стосується ентерального харчування. При розробленні рецептур такого харчування враховуються важкість метаболічних розладів, стадія захворювання або періоду реабілітації. Залежно від цільового призначення вони поділяються на стандартні, елементні, напівелементні, імуномодельючі тощо. Продукти для лікувального харчування є сумішами з високим або середнім ступенем гідролізу з білків молока, яєць або сої, які характеризуються високою біологічною цінністю, легко засвоюються та є найбільш фізіологічними для ослабленого організму [5; 8; 9]. Такі суміші можуть бути єдиним джерелом харчування впродовж досить тривалого часу. Суміші можуть бути додатково збалансовані середньоланцюговими тригліцеридами, поліненасиченими жирними кислотами, мінеральними речовинами, вітамінами та ін. речовинами; для уникнення алергічних реакцій продукти не містять лактозу та глютен. Найчастіше їх призначають при білково-енергетичній недостатності, шлунково-кишкових захворюваннях, порушеннях метаболічних процесів, до- і в післяопераційних періодах, при опікових травмах. До таких сумішей відносяться: «Peptamen AF Neutral Dual», «Nestle Health Science», Швейцарія; «Nutrison advanced peptisorb», «Nutricia», Нідерланди; «Нутрієн Елементаль», «Інфаприм», Росія.

У світі стрімкими темпами збільшується попит на спортивне харчування. Це обумовлено прагненням все більшої кількості людей до здорового способу життя. Спортивне харчування має забезпечити підвищені потреби організму в енергії, харчових та біологічно активних речовинах у період активних фізичних і психічних навантажень, прискорити відновлювальні процеси, збільшити адаптаційні можливості та нормалізувати різноманітні порушені функції організму. Види спортивного харчування мають враховувати спортивну спеціалізацію, фазу спортивного циклу (базовий підготовчий, передзмагальний, змагальний і відновний періоди), вікові і статеві особливості, стан здоров'я, індивідуальні харчові переваги тощо. За компонентним складом продукти для харчування спортсменів розподіляються на: високобілкові, білково-вуглеводні, вуглеводно-білкові, високо вуглеводні, вуглеводно-мінеральні продукти та біологічно активні добавки. В асортименті продуктів для спортивного харчування здебільшого переважають білкові продукти з різним вмістом білка (сухі протеїнові суміші і готові до вживання протеїнові коктейлі, протеїнові батончики) і суміші, де головним компонентом є вуглеводи. Білкові гідролізати у складі сумішей для спортивного харчування особливо рекомендуються з метою збільшення ефективності посиленого тренувального процесу і прискорення нарощування м'язової маси [6; 7]. Практично в усіх таких сумішах гідролізовані протеїни виробляють із «швидких білків» — білків молочної сироватки («Platinum Hydrowhey» від «Optimum nutrition», США; «Hydro cool» від «Ultimate nutrition», США тощо). Однак є суміші, в яких гідролізати вироблені з білків яловичини («100% Hydrolyzed Beef Isolate Peptides», «Scitec Nutrition», Угорщина) та колагену («RunCollg®Hydrolysed Collagen», «Gymbeam», постачальник Словаччина) [6; 7]. До складу білкової частини сумішей для спортивного харчування можуть входити так звані «повільні білки» — казеїн та соєві протеїни, причому у високоочищеному, а не ферментованому вигляді. Такі продукти додатково збагачені біологічно активними речовинами та містять ароматизатори (полуниця, ваніль,

шоколад). В Україні з 2016 р. найбільшим вітчизняним виробником продуктів спортивного харчування є ВАТ «Техмолпром» ТМ «Біос» (ЗАТ «Гадячсир», м. Гадяч, Полтавська обл.), який пропонує широкий асортимент продуктів на основі неферментованих сироваткових протеїнів.

Особливу нішу на ринку займають сучасні замітники жіночого молока — гіпоалергенні адаптовані суміші для харчування дітей грудного і раннього віку на основі частково або повністю гідролізованих білків. Такі суміші призначені для змішаного або штучного вигодовування дітей з алергією до тваринних і рослинних білків. Найчастіше білковий компонент таких сумішей представлений частково або повністю гідролізованими білками сироватки. Сучасні суміші передбачають часткову або повну заміну молочного жиру на натуральні рослинні олії (кукурудзяну, соєву, кокосову). Додатково до складу сумішей вносять вуглеводи (лактозу або декстрин мальтозу). У сучасних адаптованих сумішах міститься повний набір необхідних для організму дитини вітамінів і вітаміно-подібних речовин, мікро- і макроелементів та інших необхідних біологічно активних речовин (таурин, лецитин, L-карнітин, холін тощо). Для профілактики дисбіозу суміші можуть містити пребіотики галакто- і фруктоолігосахариди [4; 11]. В Україні представлені суміші: «Альфаре» («Нестле» Швейцарія); «Пепти-юніор», «Нутрилон гіпоалергенний», «Нутрилон-Пепті ТСЦ» («Нутриція» Нідерланди); «Прегестиміл» («Брістоль-Майерс Сквібб» США); «Frisoper AC» («Friso» Нідерланди); «Humana HA 1 с LC PUFA» («Humana», Нідерланди); «Нутрилак» («Нутритек» Росія) тощо.

Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України) має багаторічний позитивний досвід створення та впровадження вітчизняних енерго-ефективних технологій сумішей з гідролізованими білками тваринного та рослинного походження в сухій формі для адаптованого харчування дітей грудного і раннього віку та лікувального харчування дорослих. Запропоновані до впровадження технології мають ряд переваг:

- використання високоякісної білкової сировини, яка відповідає гігієнічним вимогам щодо якості і безпечності харчових продуктів та дозволена до використання Міністерством охорони здоров'я України;

- отримання заданого ступеня гідролізу білкового компонента при знижених енерговитратах за рахунок вибору сучасних високоспецифічних протеолітичних ферментних препаратів і встановлення раціональних теплотехнологічних параметрів процесу гідролізу, що дало змогу скоротити його тривалість;

- зниження енерговитрат на виробництво за рахунок використання в технологічній лінії енергоефективного обладнання, розробленого в ІТТФ НАН України, що дало змогу скоротити тривалість відновлення білків у воді, перевести білкову систему в колоїдну форму та максимально збільшити площу поверхні контакту фаз для підвищення ефективності процесу ферментативного гідролізу.

Особливість композицій у тому, що існує можливість отримати ферментативні гідролізати харчових білків зі ступенем гідролізу до 75—80%, представлені переважно низькомолекулярними пептидами з молекулярною масою 3—6 кДа, що забезпечує гіпоалергенні властивості білків; збалансувати до потреб організму амінокислотний склад білкового компонента і продукту в цілому [13; 14]. Терапевтична ефективність продуктів підтверджена позитивними результатами клінічних досліджень.

Важливим аспектом є виробництво і використання якісної та безпечної харчової продукції, гармонізоване з міжнародними вимогами Кодекс Аліментаріус (Codex Alimentarius) щодо продуктів спеціального харчування. У світі кількість розробок продуктів для спеціалізованого харчування швидко зростає. Країни-члени Світової організації торгівлі (СОТ) визнають стандарти, регламентовані в Кодекс Аліментаріус, при вирішенні спірних питань, пов'язаних з харчовою безпекою і захистом споживачів. Також ці країни переглянули свої базові нормативно-правові акти щодо регулювання якості і безпечності харчових продуктів та запровадили різноманітні реформи. Однак, незважаючи на це, в кожній країні існує своя нормативно-правова база щодо обов'язкового складу, якості і безпечності харчових продуктів, зокрема спеціалізованого харчування.

Аналіз ринку України показав, що майже вся продукція для лікувального, дитячого і спортивного харчування з ферментативними гідролізатами харчових білків закордонного виробництва. У 2008 р. Україна вступила до СОТ. За таких умов стандарти, настанови та інші рекомендації Комісії Codex Alimentarius, включаючи Систему НАССР, у сфері захисту споживачів в умовах міжнародної торгівлі харчовими продуктами набувають великого значення. Підхід до забезпечення безпечності та якості харчових продуктів в нашій державі має відповідати міжнародним вимогам. Процес інтеграції України до СОТ розвивається в напрямку гармонізації вітчизняного законодавства з міжнародним, адаптації національних стандартів безпечності харчової продукції до світових вимог. Основною розбіжністю у вітчизняному і європейському законодавстві є ставлення до таких категорій, як якість і безпечність продукту. В країнах ЄС якість харчових продуктів відноситься до суто комерційної категорії, що не підлягає контролю з боку держави. В Україні якість і безпечність харчових продуктів — це категорії, пов'язані між собою, які контролюються державною базою нормативно-правових актів [15].

Основним нормативним документом в Україні, що регламентує показники безпечності та якості харчових продуктів, що виробляються, перебувають в обігу або імпортується, є Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів». У новій редакції Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» зникли поняття продуктів для спеціального дієтичного призначення і продуктів функціонального харчування, а також вимоги до них, унормовані «Порядком віднесення харчових продуктів до категорії харчових продуктів для спеціального дієтичного споживання, функціональних харчових продуктів і дієтичних добавок та їх державної реєстрації». Натомість використовуються поняття харчового продукту для спеціальних медичних цілей і харчового продукту для контролю ваги, що не повною мірою відповідає вимогам щодо продуктів для дієтичного і профілактичного харчування або спортивного харчування. Через це виникає проблема із встановленням безпечності, якості й ефективності застосування цих категорій харчових продуктів.

Висновки

Сьогодні у світі відмічається значний попит і швидке зростання кількості спеціалізованих продуктів з ферментативними білковими гідролізатами для лікувального, дитячого і спортивного харчування. Вони розрізняються видом ви-

користаної сировини, ферментних препаратів і технологічними прийомами. Залежно від умов проведення протеолізу можливо отримати необхідні лікувальні, функціонально-технологічні або смакові властивості. Білкова складова найчастіше представлена гідролізатами білків, що характеризуються високою біологічною цінністю. Для ферментної обробки найчастіше використовуються комерційні ферментні препарати тваринного та мікробного походження.

В Україні виробництво спеціалізованого харчування для нутритивної підтримки хворих у критичних станах, спортивного і дитячого харчування майже повністю відсутнє, а тому розвиток вітчизняних харчових технологій у цій галузі є гострою соціальною, науковою і виробничою проблемою. Для вирішення цієї проблеми і наукового обґрунтування технологій велику роботу було проведено в Інституті технічної теплофізики НАН України, Київському національному торговельно-економічному університеті і Національному університеті харчових технологій.

Література

1. Andrea M., Felicia H. Nutritional, functional and bioactive protein hydrolysates. *Encyclopedia of Food Chemistry*. 2019. P. 456—464.
2. Nasri M. Protein hydrolysates and biopeptides: production, biological activities and applications in foods and health benefits. A review. *Advances in food and nutrition research*. 2017. Vol. 81. P. 109—159.
3. Dullius A., Goettert M. I. Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods — Biotechnical facilitation of industrial scale-up. *Journal of Functional Foods*. 2018. Vol. 42. P. 58—74.
4. Тутельян В. А., Конь И. Я. Детское питание: Руководство для врачей. Изд. 3-е. Москва: МИА, 2013. 744 с.
5. Ентеральна нутритивна підтримка населення в умовах надзвичайних ситуацій: монографія / Притульська Н. В. та ін. 2018, KHEY. 279 с.
6. Hughes N. Sports nutrition: not just about. URL: <https://www.foodmanufacture.co.uk/Article/-/2017/11/23/Sports-nutrition-market-moves-ever-more-mainstream>.
7. Sports Nutrition Market (Sports Food, Sports Drink & Sports Supplements). URL: <https://www.zionmarketresearch.com/market-analysis/sports-nutrition-market>.
8. Асланян С. А., Притульська Н. В., Мотузка Ю. М. Продукти ентерального харчування для спеціальних медичних цілей: інновації в Україні та світі. *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2016. Вип. 46. С. 416—423.
9. Зорин С. Н. Ферментативные гидролизаты пищевых белков для специализированных пищевых продуктов диетического (лечебного и профилактического) питания. *Вопросы питания*. 2019. Т. 88, № 3. С. 23—31.
10. Свириденко Ю. Я. и др. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 2. Функциональные свойства белковых гидролизатов, зависящие от специфичности протеолитических процессов. *Пищевая промышленность*. 2017. № 6. С. 50—53.
11. Tang J. E., Moore D. R., Kujbida G. W. et al. Ingestion of whey hydrolysate, caseine, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *Journal of applied physiology*. 2009. Vol. 107 (3). P. 987—992.
12. Капельянец Л. В. Ферменты в пищевых технологиях. 2009, Вид-во ОНАХТ. 468 с.
13. Шаркова Н. О. та ін. Технологія вітчизняного продукту спеціального дієтичного призначення «Блок гідролізований сухий». *Наукові праці ОНАХТ*. 2015. Вип. 47, т. 2. С. 216—218.
14. Суміш для функціонального харчування дітей першого року життя: пат. 119828 Україна, МПК (2018) A23C 1/12, A23O 1/08, № а 201805573; заявл. 21.05.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.
15. Слободкін В. І. Концептуальні положення Кодекс Аліментаріус та їх реалізація в національному законодавстві України. *Проблеми харчування*. 2008. № 3—4. С. 13—22.

MATHEMATICAL AND STATISTICAL ASSESSMENT OF THE INVESTIGATED MEAT PATES

O. Moskalyuk, A. Haschuk, N. Breus

National University of Food Technologies

Key words:

*Meat products
Statistical evaluation
Organoleptic evaluation
Generalized evaluation
Functional and
technological parameters*

Article history:

Received 23.04.2020

Received in revised form
14.05.2020

Accepted 29.05.2020

Corresponding author:

O. Moskalyuk

E-mail:

moskalyukoe@i.ua

ABSTRACT

Sensory (organoleptic) expert methods are very common way of obtaining information on the quality of food raw materials and finished products. This method of assessment is resorted to when it is impossible or impractical to use technical means for specific reasons. With proper organization and correct use of organoleptic methods, the obtained results are considered to be equivalent measurement results.

The results of organoleptic and sensory analysis of food products can be expressed quantitatively using numbers, the totality of which is combined into a point scale in which assessments of the properties of products are presented in a given quality range. The scoring method allows to set the level of partial or total product quality. The scoring method involves the use of both logical and mathematical analysis and allows to systematize the variety of sensations.

The article describes the method of statistical processing of data of a multifactor experiment in the case of technological processes research in order to confirm the research of twelve pate formulations using vegetable components.

A statistical evaluation of the experimental data of the studied parameters of moisture content, moisture-binding capacity, ductility, yield and fat content of the amount of meat raw material, liver and the "CHOICE" phytocomplex in terms of PFE 2³ confirmed that the formulation of the developed meat pate using hydrated cereal phytocomplex in the amount of 15% corresponds to optimal functional and technological indicators.

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ДОСЛІДЖЕНИХ ПОКАЗНИКІВ ІННОВАЦІЙНИХ М'ЯСНИХ ПАШТЕТІВ

О. Є. Москалюк, О. І. Гашук, Н. М. Бреус

Національний університет харчових технологій

Сенсорні (органолептичні) експертні методи є досить поширеним засобом отримання інформації про якість харчової сировини і готової продукції. До цього методу оцінювання вдаються при неможливості або недоцільності з конкретних причин використовувати технічні засоби. При належній організації і правильному використанні методів органолептичного аналізу отримані результати вважаються рівноцінними результатами вимірювань.

Результати органолептичного і сенсорного аналізу харчових продуктів можуть бути виражені кількісно за допомогою чисел, сукупність яких об'єднують у бальну шкалу, в якій оцінки властивостей продуктів представлені в заданому діапазоні якості. Метод бальної оцінки дає змогу встановити рівень часткової або загальної якості продукту. Бальний метод передбачає використання як логічного, так і математичного аналізу та систематизує різноманіття відчуттів.

У статті описано методiku статистичної обробки даних багатофакторного експерименту при дослідженні технологічних процесів з метою підтвердження функціонально-технологічних показників розроблених дванадцяти рецептур паштетів з використанням рослинних компонентів.

Статистична оцінка експериментальних даних досліджуваних параметрів вмісту вологи, ВЗЗ, пластичності, виходу та вмісту жиру від кількості м'ясної сировини, печінки та фітокомплексу «CHOICE» в плані ПФЕ 2³ підтвердила, що рецептура розробленого м'ясного паштету з використанням гідратованого фітокомплексу злакових культур у кількості 15% відповідає оптимальним функціонально-технологічним показникам.

Ключові слова: м'ясні продукти, статистична оцінка, органолептична оцінка, узагальнена оцінка, функціонально-технологічні показники.

Постановка проблеми. Сенсорні (органолептичні) експертні методи є досить поширеним засобом отримання інформації про якість харчової сировини і готової продукції. Результати органолептичного і сенсорного аналізу харчових продуктів можуть бути виражені кількісно за допомогою чисел, сукупність яких об'єднують у бальну шкалу, в якій оцінки властивостей продуктів представлені в заданому діапазоні якості. Метод бальної оцінки дає змогу встановити рівень часткової або загальної якості продукту. Бальний метод передбачає використання як логічного, так і математичного аналізу та систематизує різноманіття відчуттів.

Математичні методи широко використовуються при обробці експериментальних даних у різних галузях. На сьогодні існує велика кількість підручників і монографій, де викладені методи та принципи використання математики при вивченні різноманітних процесів і об'єктів навколишнього світу. В багатьох випадках вивчають вплив одного або декількох факторів на певну величину [1; 2;

3]. Отримані дані заносять у таблицю, яка при дослідженні впливу фактора «X» на вихідну величину «Y» має вигляд табл. 1.

Таблиця 1. Форма подання експериментальних даних для математичної обробки

Фактор x	X_0	X_1	X_2		X_n
Вихідна величина y	Y_0	Y_1	Y_2		Y_n

Під математичною обробкою розуміють проведення аналізу експериментальних даних з використанням математико-статистичних методів: визначення кореляції між вимірюваними параметрами, отримання рівняння регресії, перевірка статистичних гіпотез, побудова математичної моделі тощо.

Дані табл. 1 можна використовувати для побудови залежності $f(X)$ за допомогою поліномів або сплайнів. Цей метод часто застосовується для обробки однофакторних експериментів [4; 5]. Аналітичне вирішення такого завдання при досить великому обсязі даних практично неможливе, що зумовлює необхідність створення програм з використанням алгоритмічних мов або звернення до спеціальних програмних оболонок типу Matlab. На основі експериментальних досліджень, шляхом математичного моделювання були побудовані аналітичні та графічні двовимірні регресійні моделі [6—10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи опубліковані результати досліджень, присвячених методам обробки експериментальних даних, можна стверджувати, що у більшості з них описані аналітичні та графічні двовимірні регресійні моделі.

Мета статті: дослідження розроблених дванадцяти рецептур паштетів з використанням грибів гливи, біомаси грибів гливи *Pleurotus ostreatus* і гідратованого фітокомплексу «CHOICE» із застосуванням статистичної оцінки експериментальних даних органолептичної оцінки і функціонально-технологічних показників модельних м'ясних систем.

Викладення основних результатів дослідження. Оцінки, отримані членами експертної комісії, оброблялись з метою знаходження узагальненого результату. Обробка експертних оцінок залежить перш за все від методу визначення вагових коефіцієнтів і алгоритму комплексування показників якості. Моделювання органолептичної оцінки якості м'ясних паштетів здійснювали методом порівняльного аналізу. Оцінка показників якості розроблених рецептур м'ясних паштетів зводилась до необхідності визначення, яка із представлених рецептур є оптимальною.

Моделювання та обробка експериментальних даних виконувались за допомогою математичного пакета MathCad та (ET) MSExcel.

Спочатку знаходили значення сумарних x_Σ та середньоарифметичних x_{cp} оцінок за формулами:

$$x_\Sigma = \sum_{n=1}^N x_n ; \quad (1)$$

$$x_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{N} , \quad (2)$$

де x_n — оцінка n -го показника якості паштету; N — число показників якості паштету.

Підставляючи у формули (1) і (2) оцінки органолептичних показників якості паштетів отримуємо значення, представлені в табл. 2.

Рецептури 2, 4, 5, 6, 8, 9 і 12 отримали однакові середньоарифметичні оцінки, що пов'язано зі «згладжуванням» відмінностей оцінок за окремими показниками. Тож загальноприйнятий підхід знаходження сумарної або середньої оцінок дегустаторів за різними показниками є принципово невірним тому, що в ряді випадків не враховується «індивідуальна» інформація про об'єкт дослідження.

Як узагальнену оцінку, яка має кращу порівняно із сумарною і середньоарифметичною оцінками розпізнавальну здатність, використовували середню геометричну оцінку органолептичних показників якості м'ясних паштетів, яку розраховували за формулою:

$$x_{\text{узаг}} = \sqrt[n]{\prod_{x_n} (x_n - x_{\min})} + x_{\min}, \quad (3)$$

де $x_{\min}$ — мінімальна оцінка органолептичних показників якості продукту.

Таблиця 2. Органолептичні показники якості та узагальнена оцінка м'ясних паштетів

Контроль	№ зразка	Оцінка органолептичних показників якості, бали						Сумарна оцінка x_s , бали	Середньоарифметична оцінка $x_{\text{ар}}$, бали	Узагальнена (середньоггеометрична оцінка $x_{\text{узаг}}$, бали)	Нечітка міра подібності, ρ
		Зовнішній вигляд, x_1	Консистенція, x_2	Вигляд на розрізі, x_3	Запах, x_4	Смак, x_5	Соковитість, x_6				
Модельна фаршева система з гливами	Контроль	4,89	4,89	4,98	4,89	4,97	4,86	29,48	4,91	4,860	0,09
	Р-ра 1	4,36	4,89	5,21	4,10	4,91	4,88	28,35	4,73	4,100	0,53
	Р-ра 2	4,79	4,89	4,93	4,89	4,87	4,85	29,22	4,87	4,790	0,13
Модельна фаршева система з біомасою грибів гливи <i>P. ostreatus</i>	Р-ра 3	4,64	4,82	4,28	4,75	4,91	4,55	27,95	4,66	4,757	0,46
	Р-ра 4	4,57	4,23	4,65	4,34	4,43	4,45	26,67	4,45	4,230	0,55
	Р-ра 5	4,91	4,28	4,55	4,82	4,64	4,75	27,95	4,66	4,270	0,46
Модельна фаршева система з фітокомплексом «CHOICE»	Р-ра 6	3,61	3,38	4,21	4,45	4,38	4,42	24,45	4,08	3,380	0,93
	Р-ра 7	4,36	4,89	4,88	5,21	4,91	4,10	28,35	4,73	4,100	0,53
	Р-ра 8	4,28	4,55	4,91	4,82	4,75	4,64	27,95	4,66	4,280	0,46
	Р-ра 9	4,89	4,89	4,97	4,88	4,88	4,89	29,40	4,90	4,880	0,10
	Р-ра 10	4,67	4,45	4,45	4,52	4,76	4,58	27,43	4,57	4,450	0,43
	Р-ра 11	4,51	4,42	4,32	4,54	4,44	4,51	26,74	4,46	4,530	0,53
	Р-ра 12	4,57	4,43	4,23	4,65	4,34	4,45	26,67	4,45	4,523	0,55

Узагальнена оцінка м'ясних паштетів представлена в табл. 1 як $x_{узг}$ та на діаграмі середньої органолептичної оцінки модельних паштетів з грибною сировиною та фітокомплексом «CHOICE» (рис. 1).

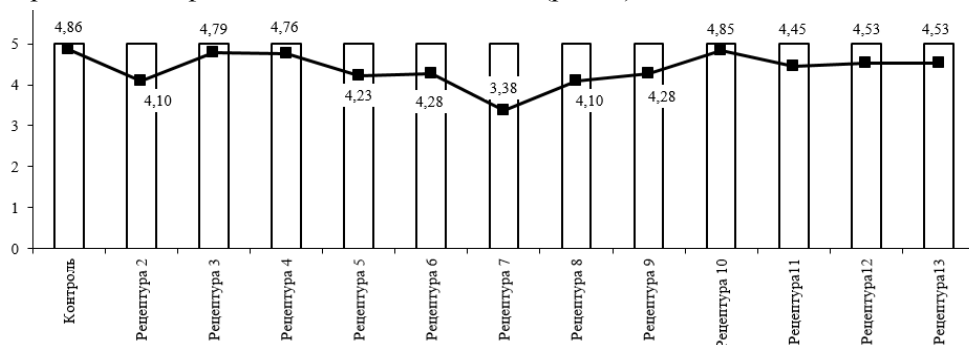


Рис. 1. Середня органолептична оцінка модельних паштетів з грибною сировиною та фітокомплексом «CHOICE»: рецептура 1 — контроль; рецептура 2 — грибною сировини 10%; рецептура 3 — грибною сировини 15%; рецептура 4 — грибною сировини 20%; рецептура 5 — грибною сировини 2%; рецептура 6 — грибною сировини 3%; рецептура 7 — грибною сировини 4%; рецептура 8 — фітокомплекс «CHOICE» 5%; рецептура 9 — фітокомплекс «CHOICE» 10%; рецептура 10 — фітокомплекс «CHOICE» 15%; рецептура 11 — фітокомплекс «CHOICE» 20%; рецептура 12 — фітокомплекс «CHOICE» 25%; рецептура 13 — фітокомплекс «CHOICE» 30%

Для визначення рецептури м'ясного пашкету, яка найбільш подібна до контролю, застосовували метод нечіткої міри подібності, що обчислюється за формулою:

$$\rho(S, X) = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^N \gamma_n^2 \frac{(x_n - S_n)^2}{\sigma_n^2}}, \quad 0 \leq \rho(S, X) \leq 1, \quad (4)$$

де $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ і $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — вектори контрольних S та експериментальних X оцінок n -х показників якості рецептур; $n = 1, N$; N — число показників якості рецептур; $3 \leq x \leq 5$; $S_n = 5$ для 5-бальної шкали; γ_n —

вагомий коефіцієнт n -го показника якості рецептури $0 \leq \gamma_n \leq 1, \sum_{n=1}^N \gamma_n = 1$; σ_n — стандартне відхилення оцінки ($\sigma_n = 1$ при використанні 5-бальної шкали).

Проведені обчислення дають змогу оцінювати рівні якості рецептур за всіма показниками подібності $\rho(S, X)$ вектора X з вектором S . При повному збігу ($X = S$) буде відповідати 100% якості рецептури.

При обчисленні міри подібності нових рецептур м'ясних паштетів контролю (згідно з ДСТУ 4432:2005) формула (4) має вигляд:

$$\rho(S, X) = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^{13} \left(\frac{1}{13}\right)^2 \frac{(x_n - S_n)^2}{\Delta_n^2}}, \quad (5)$$

де x_n та S_n — сумарні оцінки; n — 1, 13 (кількість рецептур); γ_n — вага n -го показника якості; Δ — ціна поділки = 1 бал.

Результати обчислень міри подібності нових рецептур м'ясних паштетів контролю (згідно з ДСТУ 4432:2005) представлені на діаграмі міри подібності експериментальних рецептур до контролю (рис. 2).

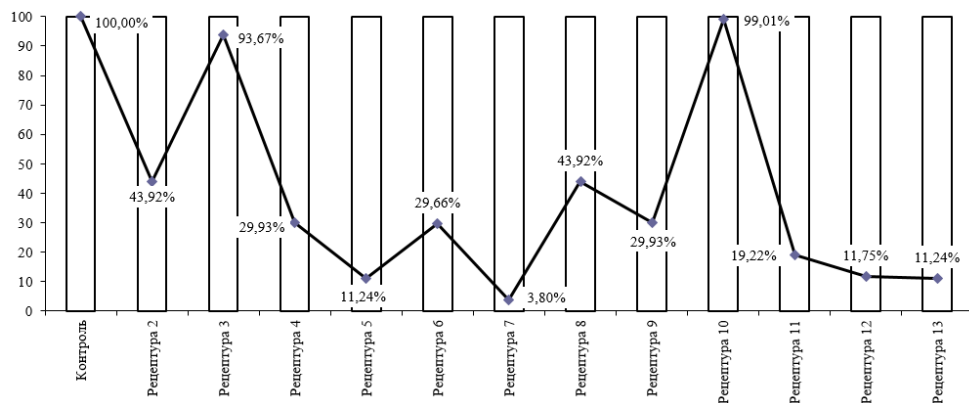


Рис. 2. Міра подібності експериментальних рецептур до контролю: рецептура 1 — контроль, рецептура 2 — грибною сировини 10%; рецептура 3 — грибною сировини 15%; рецептура 4 — грибною сировини 20%; рецептура 5 — грибною сировини 2%; рецептура 6 — грибною сировини 3%; рецептура 7 — грибною сировини 4%; рецептура 8 — фітокомплекс «СНОІСЕ» 5%; рецептура 9 — фітокомплекс «СНОІСЕ» 10%; рецептура 10 — фітокомплекс «СНОІСЕ» 15%; рецептура 11 — фітокомплекс «СНОІСЕ» 20%; рецептура 12 — фітокомплекс «СНОІСЕ» 25%; рецептура 13 — фітокомплекс «СНОІСЕ» 30%

На наступному етапі проводили статистичну оцінку експериментальних даних функціонально-технологічних показників модельних м'ясних систем з використанням гідратованого фітокомплексу «СНОІСЕ». При визначенні вмісту вологи, ВЗЗ, пластичності, виходу та вмісту жиру в м'ясних паштетах з використанням фітокомплексу злакових культур в плані ПФЕ 2³ досліджувались варіації цих параметрів від кількості м'ясної сировини в рецептурі та вмісту фітокомплексу «СНОІСЕ»:

C_1 — кількість печінки в рецептурі, %;

C_2 — вміст м'ясної сировини в рецептурі, %;

C_3 — вміст фітокомплексу «СНОІСЕ» в рецептурі, %;

Y_1 — вміст вологи, %;

Y_2 — ВЗЗ_a, %;

Y_3 — пластичність, см²/кг;

Y_4 — вихід готового продукту, %;

Y_5 — вміст жиру в готових продуктах, г/100г.

Складаємо план ПФЕ 2³, представлений в табл. 3.

Рівняння регресії за даними табл. 3 для ПФЕ 2³ має вигляд:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + \epsilon,$$

де ϵ — випадкова змінна, що характеризує відхилення факторів x_1 , x_2 , x_3 від лінії регресії (залишкова змінна).

Таблиця 3. Дані зі створеного плану ПФЕ 2³

№	x_1	x_2	x_3	C_1 , %	C_2 , %	C_3 , %	Волога, %	ВЗЗ, %	Пластичність, см ² ·г/кг	Вихід, %	Вміст жиру, г/100г
1	+	+	+	25	53	5	61,8	78,3	5,31	88	16,0
2	–	+	+	20	53	10	63,5	74,2	6,02	91	15,1
3	+	–	+	20	48	15	65,7	78,0	5,4	93	12,1
4	–	–	+	25	38	20	60,8	77,6	5,0	91	13,7
5	+	+	–	25	33	13	61,3	77,0	5,9	92	13,4
6	–	+	–	20	38	25	64,5	76,3	6,1	90	10,8
7	+	–	–	20	36	28	63,9	76,8	6,8	89	11,5
8	–	–	–	25	28	30	63,4	73,6	6,9	90	10,5

У науковому дослідженні математичне сподівання випадкового відхилення ε_i дорівнює 0 для всіх спостережень ($M(\varepsilon_i) = 0$), де a_0 — вільний член, який визначає значення Y в разі, коли всі незалежні змінні x_i рівні 0; a_1, a_2, a_3 — коефіцієнти вагомості, які показують, наскільки зміниться результативна ознака, при зміні на одиницю вимірювання кожного незалежного фактора x_1, x_2, x_3 ; Y_i — значення i -го параметра в n -му досліді.

Для оцінки невідомих параметрів a_0, a_1, a_2 застосовано метод найменших квадратів (МНК). Згідно з методом невідомі параметри функції вибираються таким чином, щоб сума квадратів відхилень планових(емпіричних) значень Y_i від їх розрахункових (теоретичних) Y_{ip} значень була мінімальною, тобто:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{ip})^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \varphi(X_i, a_0, a_1, \dots, a_n))^2 \rightarrow \min.$$

Значення коефіцієнтів рівняння регресії для обраних факторів представлено у табл. 4.

Таблиця 4. Дані зі створеного плану ПФЕ 2³

Коефіцієнти	Волога, %	ВЗЗ, %	Пластичність, см ² ·г/кг	Вихід, %	Вміст жиру, г/100г
a_0	70,187	77,14	9,039	112,858	4,792
a_1	-0,437	0,025	-0,09	-0,444	0,265
a_2	0,037	0,002	-0,034	-0,208	0,099
a_3	0,067	-0,073	0,018	-0,209	-0,107

Отримані дані значень коефіцієнтів вагомості значимих факторів рівняння дають змогу вивести лінійні рівняння регресії:

$$Y_1 = 70,187 - 0,437 \cdot x_1 + 0,037 \cdot x_2 + 0,067 \cdot x_3;$$

$$Y_2 = 77,14 + 0,025 \cdot x_1 + 0,002 \cdot x_2 - 0,073 \cdot x_3;$$

$$Y_3 = 9,039 - 0,09 \cdot x_1 - 0,034 \cdot x_2 + 0,018 \cdot x_3;$$

$$Y_4 = 112,858 - 0,444 \cdot x_1 - 0,208 \cdot x_2 - 0,209 \cdot x_3;$$

$$Y_5 = 4,792 + 0,265 \cdot x_1 + 0,099 \cdot x_2 - 0,107 \cdot x_3.$$

Адекватність моделей перевірена за коефіцієнтами детермінації $R^2_{Y1} = 87\%$, $R^2_{Y2} = 88\%$, $R^2_{Y3} = 92\%$, $R^2_{Y4} = 90\%$ та $R^2_{Y5} = 91\%$, що свідчить про високу якісну характеристику зв'язку коефіцієнтів системи, а також зроблено перевірку за

допомогою F -тесту (F -критерій Фішера) та t -розподілу Стюдента для оцінки надійності коефіцієнтів кореляції, що підтверджено графічно (рис. 3, 4, 5).

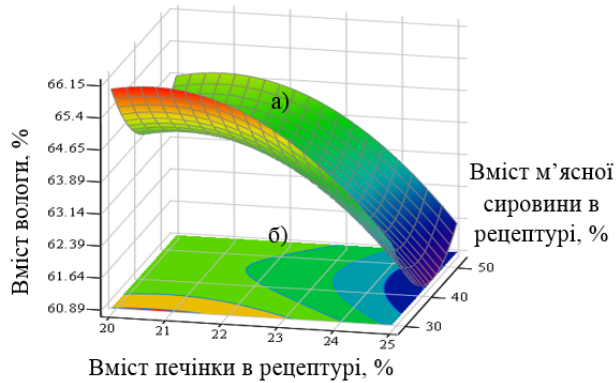


Рис. 3. Графік (а) і графік постійних значень (б) залежності вмісту вологи від вмісту печінки та м'ясної сировини в рецептурі, %

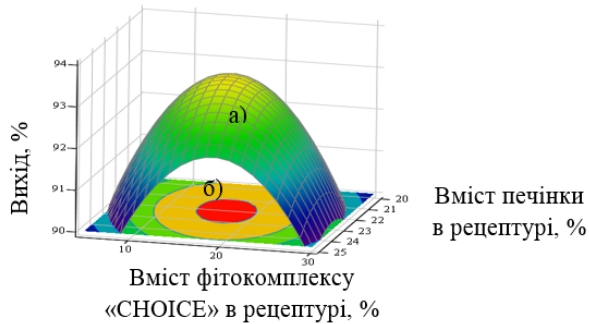


Рис. 4. Графік (а) і графік постійних значень (б) залежності виходу продукту від вмісту фітокомплексу «CHOICE» та вмісту печінки в рецептурі

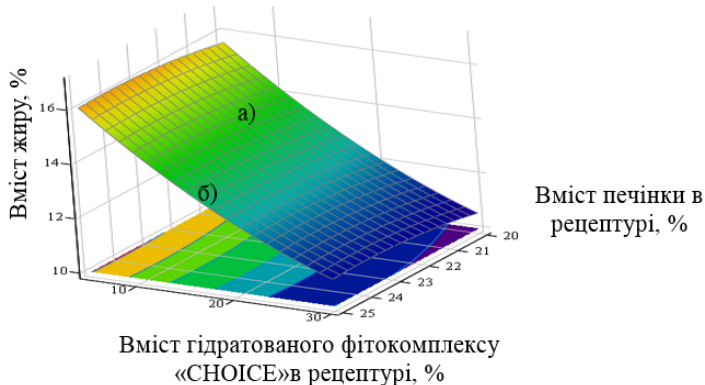


Рис. 5. Графік (а) і графік постійних значень (б) залежності вмісту жиру від вмісту печінки, % та кількості фітокомплексу злакових культур у рецептурі

Висновки

Отже, статистична оцінка експериментальних даних органолептичної оцінки і функціонально-технологічних показників модельних м'ясних систем підтвер-

дила результати дослідження розроблених дванадцяти рецептур паштетів з використанням грибів гливи, біомаси грибів гливи *Pleurotus ostreatus* і гідратованого фітокомплексу «СНОІСЕ» з вибору оптимальних рецептур.

Досліджувані варіації параметрів вмісту вологи, ВЗЗ, пластичності, виходу та вмісту жиру від кількості м'ясної сировини, печінки та фітокомплексу «СНОІСЕ» в плані ПФЕ 2³ підтвердили, що рецептура розробленого м'ясного паштету з використанням гідратованого фітокомплексу злакових культур у кількості 15% відповідає оптимальним функціонально-технологічним показникам.

Література

1. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. М. Бином, 2001. С. 363—375.
2. Єремєєв В. С., Ракович Г. М. Теорія планування та обробки експерименту. Навчальний посібник. Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького. 2012. 92 с.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. Изд. 7-е, стер. М.: Высш. шк., 2001. 479 с.
4. Володарський Є. Т., Кошева Л.О. Статистична обробка даних: навч. посібник. К.: НАУ, 2008. 308 с.
5. Барковський В. В., Барковська Н. В., Лопатін О. К. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2006. 424 с.
6. Гащук О. І., Москалюк О. Є., Горішний О. П., Грищенко О. А. Удосконалення технології м'ясо-рослинних консервів з використанням бобових. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 6. С. 219—226.
7. Breus N., Hrybkov S., Polischuk G. Hybrid expert system to model the ice cream recipes. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2017 Volume 5, Issue 2. P. 294—305.
8. Breus N., Hrybkov S., Polischuk G., and Seidykh O. Розроблення математичного апарату експертної системи для моделювання рецептур морозива з заданими показниками якості. *Наука та інновації*. 2019. № 15(5). С. 62—72.
9. Polischuk G., Sharahmatova T., Breus N., Bass O., Shevchenko I. Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food science and technology*. 2019. Volume 13, Issue 2. P. 71—78.
10. Polischuk G., Bass O., Osmak T., Breus N. (2019). Cryoprotective ability of starch syrup in the composition of aromatic and fruit-berry ice cream. *Ukrainian Food Journal*. 2019. Volume 8. Issue 2. P. 239—249.

УДК: 637.5/678.078

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PASTEURIZATION ON ORGANOLEPTIC, RHEOLOGICAL AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SAUSAGES

V. Pasichnyi, T. Khorunzha, M. Polumbryk

National University of Food Technologies

Key words:

*Combined minced meat
Dry whey
Food blood
Heme iron
Pasteurization
Biological value*

Article history:

Received 21.04.2020
Received in revised form
14.05.2020
Accepted 03.05.2020

Corresponding author:

V. Pasichnyi

E-mail:

pasww1@ukr.net

ABSTRACT

One of the priorities of the meat industry is to produce full-fledged products with biological value, which are characterized by improved consumer properties. Meat and meat products are components of the human diet, which are a source of high-quality proteins and trace elements necessary for the normal functioning of the human body. Among meat products, cooked sausages are in the greatest demand among consumers, and to expand their range, research is being conducted to expand the resources for the use of related protein-containing products from meat production, as well as related milk processing products.

The analysis of literature sources of foreign and domestic authors on the use of dry whey, food blood in sausages, as well as ways to prolong the storage of cooked sausages, revealed no data on the impact on the quality of sausages combined in recipes along with traditional types of raw meat blood and whey in the technology of pasteurized sausages of cooked group.

The issues of development of cooked sausages enriched with heme iron due to the use of food blood are covered in the work. The effect of pasteurization and the effect in the composition of the presence of dry whey, food blood and combined fat emulsion were studied. The effect of pasteurization of the obtained formulations is investigated. The influence of the composition of the formulations on the rheological parameters of the minced meat systems was determined. The physico-chemical indicators of raw materials, sausages before and after pasteurization were investigated. The organoleptic properties of the finished product were investigated. Addition of whey powder affects the taste of the finished product, and also increases the biological value of sausage products. The edible blood was added to the recipe in a limited amount, since blood gives the finished product a specific taste and aroma, determined by the optimal amount of blood to the recipe.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-3-24

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ НА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ, РЕОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСИСОК

В. М. Пасічний, Т. О. Хорунжа, М. М. Полумбрик

Національний університет харчових технологій

Одним із пріоритетних завдань м'ясної галузі є випуск повноцінної за біологічною цінністю продукції, яка вирізняється покращеними споживними властивостями. М'ясо та м'ясопродукти є джерелом високоякісних білків і мікроелементів, необхідних для нормального функціонування організму людини. Серед м'ясних продуктів найбільшим попитом у споживачів користуються ковбасні вироби вареної групи, для розширення асортименту яких ведуться дослідження щодо розширення ресурсів використання супутніх білоквісних продуктів, що отримуються в процесі виробництва м'яса, а також супутніх продуктів перероблення молока.

Проведений аналіз зарубіжних і вітчизняних літературних джерел щодо використання у ковбасних виробках сухої молочної сироватки, харчової крові, а також способів подовження зберігання варених ковбасних виробів, виявив відсутніх даних щодо впливу на якість ковбас комбінування в складі рецептур поряд з традиційними видами м'ясної сировини харчової крові та молочної сироватки в технології пастеризованих ковбас вареної групи.

У статті висвітлено питання розробки ковбасних виробів вареної групи, збагачених гемовим залізом, завдяки використанню харчової крові. Вивчено ефект пастеризації та вплив у складі рецептур наявності сухої молочної сироватки, харчової крові та комбінованої жиркової емульсії. Проведено визначення впливу складу рецептур на реологічні показники фаршевих систем. Досліджено ефект пастеризації отриманих рецептур та органолептичні властивості готового продукту. Визначено фізико-хімічні показники сировини, ковбасних виробів до пастеризації та після. З'ясовано, що додавання сухої молочної сироватки впливає на смакові характеристики готового продукту, підвищує біологічну цінність ковбасних виробів. Визначено оптимальну кількість додавання крові харчової до рецептур, адже харчова кров надає готовому виробу специфічний смак та аромат.

Ключові слова: *комбіновані фарші, суха молочна сироватка, харчова кров, гемове залізо, пастеризація, біологічна цінність.*

Постановка проблеми. *Спосіб життя і харчування сучасної людини є найважливішими факторами, від яких залежить працездатність, резистентність до негативних зовнішніх впливів, що в кінцевому підсумку визначає тривалість життя людини [1].*

Результатом розвитку численних наукових теорій про продукти харчування повинна бути поява нових, корисних для здоров'я людини продовольчих товарів, збагачених одним або декількома функціональними інгредієнтами. Більшість технологій таких продуктів складаються з багатостадійних процесів, які впливають на структуру та хімічний склад сировини з різною інтенсивністю. Ці зміни, а також інтенсивність процесів можуть призводити до значних моди-

фікацій кількісного і якісного складу поживних речовин, а також варіативно впливати на їхню біологічну активність, доступність мікроелементів і комплекс показників якості харчової продукції [2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання комбінаторики тваринних і рослинних білоквмісних рецептурних складових та їхній вплив на структурно-механічні, сенсорні та функціонально-технологічні показники м'ясопродуктів лишаються актуальними і стосуються насамперед раціоналізації використання цих рецептурних компонентів [4].

Одним із таких рецептурних компонентів є молочна сироватка, яка слугує джерелом макро- і мікроелементів (кальцію, фосфору, калію), а також в значній мірі водо- та солерозчинних білків [5].

Суха молочна сироватка є порошкоподібною речовиною білого або злегка жовтуватого відтінку. Це повністю натуральний продукт, який виготовляється в промислових умовах зі свіжої підсирної і сирної сироватки, одержуваної з молока в процесі виробництва сиру [5].

Для ефективного моделювання збалансованості складу мікроелементів необхідно враховувати їхню біодоступність, тому використання супутніх продуктів молочної і м'ясної промисловості як рецептурних компонентів з високим рівнем відповідності потреб людського організму [6] є одним із важливих прикладних наукових завдань у м'ясопереробній галузі.

Одним із проявів незбалансованості раціону харчування вважається залізодефіцитний стан, що може викликати анемію. Існує два напрямки подолання дефіциту заліза в харчуванні населення: медикаментозне — призначення залізовмісних препаратів, і дієтичне — створення раціональної харчування за рахунок розроблення нового покоління продуктів, збагачених мікронутрієнтами і біологічно активними інгредієнтами [7—12].

У м'ясопереробній галузі більше половини асортименту складають ковбасні вироби. Однак у дослідженнях, пов'язаних з розробленням нових видів ковбасних виробів, питання виявлення впливу умов теплового нагрівання при розробленні технологій ковбасних виробів з цільовим мікроелементозним збагаченням, зокрема гемовим залізом, майже не досліджувалися [13]. Тому розроблення нових повноцінних рецептур ковбасних виробів та обґрунтування технологічних режимів їх виготовлення є актуальним питанням сьогодення.

Метою дослідження є визначення впливу на структурно-механічні показники фаршів для варених ковбасних виробів внесення до рецептур як мікроелементозних збагачувачів сухого знежиреного молока, молочної сироватки і харчової крові та визначення ефекту пастеризації на функціонально-технологічні й органолептичні показники пастеризованих ковбасних виробів на прикладі сосисок пастеризованих.

Матеріали і методи. Одним із найважливіших показників, які визначають якість харчових продуктів, є їхня консистенція, яка характеризується структурно-механічними властивостями, що визначаються реологічними методами. За консистенцією оцінюють якість харчового продукту, порівнюючи створену систему із загальновідомими еталонними продуктами. Знання щодо реологічних характеристик сировини та готової продукції необхідні, оскільки від відповідності параметрів сировини визначеним вимогам та забезпечення

контролю параметрів процесів на всіх стадіях виробництва залежить якість ковбасних виробів [14; 15].

Для виготовлення продукції заданої та стабільної якості в умовах сучасного виробництва необхідний вхідний контроль сировини; знання щодо впливу її якості на технологічні характеристики напівфабрикатів; сучасні методи інструментального контролю якості сировини та фаршевих систем, які дають змогу корегувати параметри технологічного процесу, впливаючи на реологічні, функціонально-технологічні й органолептичні показники готового виробу.

Об'єктами досліджень були фарші для сосисок варених, що включають червоне м'ясо курчат бройлерів, свинину напівжирну, яловичину, кров харчову свинячу, сухе молоко та суху сироватку.

Методика досліджень полягала в отриманні експериментальних кривих залежності напруги зсуву та в'язкості сумішей від швидкості зсуву, їхнього аналізу й узагальнення. Для визначення реологічних показників використовували ротаційний віскозиметр Rheotest II, який широко використовується для визначення структурно-механічних характеристик технологічних фабрикатів [14; 15].

Визначення залежність між напруженням зсуву і швидкістю зсуву характеризувало досліджуваний фарш з точки зору його реологічних властивостей. Вимірювання забезпечили визначення кривих плинності м'ясних фаршів з різним рецептурним співвідношенням у складі фаршів харчової крові та сухої молочної сироватки. При плануванні досліджень використовувався план повного факторного експерименту зі зміною двох факторів.

Дослідження сировини, готових ковбасних виробів до та після пастеризації проводились з використанням хімічних, органолептичних, фізико-хімічних, технологічних методів аналізу. Під час дослідів використовувались стандартні та загальновідомі методи дослідження, що забезпечують виконання поставлених завдань [16].

Викладення основних результатів досліджень. У табл. 1 представлено склад рецептур сосисок. Як основну м'ясну сировину в складі рецептур використовували яловичину, свинину напівжирну та червоне м'ясо курчат бройлерів. Варіювання в складі рецептур сосисок частки харчової крові, сухого знежиреного молока та сухої молочної сироватки проводили шляхом заміни яловичини першого сорту. При цьому на основу фаршу вносились частка води в кількості 20—30% для забезпечення при складанні фаршу необхідного рівня його розробки.

Таблиця 1. Рецептурний склад ковбасних виробів

Сировина	Варіанти рецептур			
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
1	2	3	4	5
Основна сировина, кг				
Червоне м'ясо курчат-бройлерів	20,0	20,0	20,0	20,0
Яловичина 1 сорт	46,0	44,0	43,0	41,0
Свинина напівжирна	15,0	15,0	15,0	15,0
Кров харчова	3,0	3,0	6,0	6,0
Суша молочна сироватка	2,0	4,0	2,0	4,0

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Сухе молоко знежирене	4,0	4,0	4,0	4,0
Сало хребтове	10,0	10,0	10,0	10,0
Допоміжна сировина та спеції на 100 кг основної сировини, кг				
Волога (лід)	20,0	30,0	20,0	30,0
Спеції	0,4	0,4	0,4	0,4
Сіль кухонна	2,5	2,5	2,5	2,5
Нітрит натрію	0,005	0,005	0,005	0,005
Суміш харчова «Емулін»	1,0	1,0	1,0	1,0

У табл. 2 наведено якісні характеристики основної м'ясної сировини для виробництва ковбасних фаршів.

Таблиця 2. Показники якості основної м'ясної сировини

Сировина	pH	Вміст води, %	B33, %	Пластичність см ² ·г/кг
Свинина напівжирна	6,40	53,80±0,05	87,1±0,12	8,9±0,10
Яловичина І сорт	6,45	68,50±0,12	95,2±0,24	7,6±0,10
Червоне м'ясо курчат-бройлерів	6,50	66,88±0,20	93,0±0,30	9,1±0,10

Найбільший вміст води міститься у яловичині 68,5% і червоному м'ясі курчат бройлерів — 66,88%, проте ці види м'яса мають високі показники B33, відповідно, 95,2 і 93%.

Визначені показники основної сировини за значенням pH, вмістом води, вологості, здатністю та пластичністю подрібненого фаршу засвідчують їхню відповідність середнім значенням для цих видів м'яса.

В отриманих після розробки фаршів за рецептурами (табл. 1), які використовувались для виробництва сосисок, визначали реологічні і функціональні технологічні показники.

В'язкісні характеристики розроблених фаршів представлені на рис. 1.

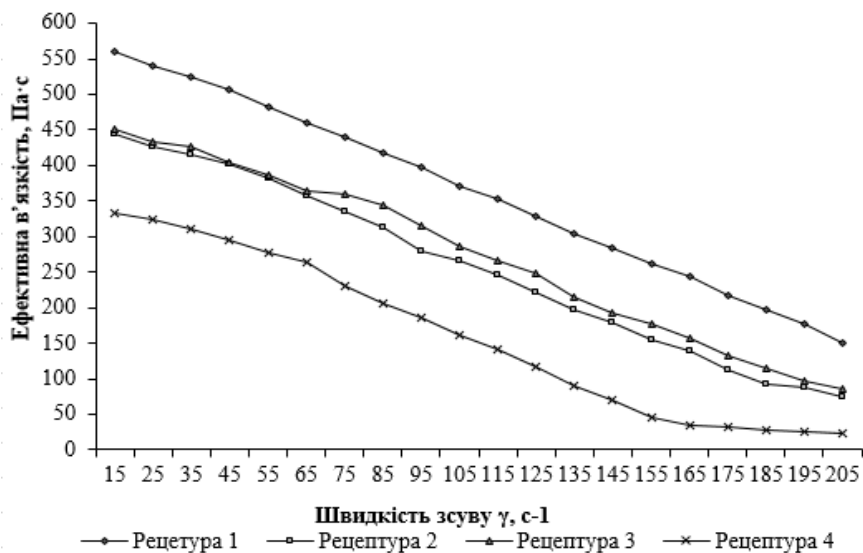


Рис. 1. Крива плинності м'ясного фаршу з харчовою кров'ю

Із рис. 1 видно, що має місце нелінійна залежність для зразка фаршу № 4 з найбільшою часткою м'ясної. Ефективна в'язкість незруйнованої структури фаршу, виготовленого за рецептурою № 4, знаходилася в інтервалі 28 Па·с за температура $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ при дотичній напруженості $\gamma = 170 \text{ c}^{-1}$ (циліндр Н для Rheotest П). На наведеному графіку умовно виділяються дві ділянки, що характеризуються зниженням ефективної в'язкості та виходом на постійні значення. Така реологічна поведінка обумовлена співвідношенням зруйнованих і відновлених зв'язків, що залежать від швидкості зсуву, та, ймовірно, пояснюється руйнуванням структури, частки дисперсної фази орієнтуються в напрямі течії, послаблюється зчеплення між ними.

З розроблених фаршів були виготовлені за традиційною технологією сосиски варені [17], які в подальшому використали для визначення впливу повторної пастеризації. Свіжовиготовлені в лабораторних умовах сосиски герметично пакували в скляну тару з додаванням заливного розсолу кухонної солі з концентрацією 1% і проводили пастеризацію при температурі 85°C за формулою $(30-40-20)$ хв, де 30 — час на нагрівання зразків до температури пастеризації, 40 — час термостатування при заданій температурі, 20 — час охолодження.

У подальших дослідженнях визначали показники сосисок, вироблених без повторної пастеризації і пастеризованих. Показники дослідних зразків сосисок представлено у табл. 3 і 4.

Таблиця 3. Показники дослідних сосисок до пастеризації

Варіант рецептур	pH	Вміст води, %	ВЗЗ, %	Пластичність $\text{cm}^2 \cdot \text{g/kg}$
Контроль	6,0	$70,0 \pm 0,28$	$75,0 \pm 0,34$	$5,50 \pm 0,05$
1	6,5	$61,2 \pm 0,24$	$73,0 \pm 0,30$	$6,60 \pm 0,05$
2	6,5	$66,2 \pm 0,26$	$77,0 \pm 0,38$	$2,80 \pm 0,03$
3	6,5	$62,9 \pm 0,24$	$70,4 \pm 0,30$	$3,90 \pm 0,03$
4	6,5	$64,3 \pm 0,28$	$77,8 \pm 0,30$	$6,60 \pm 0,05$

Значення pH ковбасних виробів до пастеризації порівняно зі значеннями pH фаршів було зміщено на 0,05 одиниць в лужну сторону, що корелюється з даними більшості публікацій.

За вмістом води і модельні сосиски відповідали вимогам нормативних документів для сосисок варених. При цьому для всіх варіантів сосисок з використанням харчової крові і сухої молочної сироватки значення ВЗЗ було вище 70%, що вказувало на високі якісні показники, а кращі, порівняно з контролем, значення ВЗЗ мали 2 і 4 зразки з часткою сухої молочної сироватки 4%.

Таблиця 4. Показники дослідних сосисок після пастеризації

Варіант рецептур	pH	Вміст води, %	ВЗЗ, %	Пластичність $\text{cm}^2 \cdot \text{g/kg}$	Вихід до основної сировини, %
Контроль	6,1	$78,2 \pm 0,38$	$80,1 \pm 0,28$	$6,30 \pm 0,10$	100,0
1	6,6	$63,6 \pm 0,24$	$77,0 \pm 0,32$	$8,50 \pm 0,10$	113,0
2	6,5	$72,6 \pm 0,28$	$74,1 \pm 0,22$	$6,20 \pm 0,10$	110,0
3	6,6	$65,3 \pm 0,22$	$76,0 \pm 0,36$	$5,20 \pm 0,10$	108,0
4	6,5	$67,0 \pm 0,22$	$80,2 \pm 0,44$	$5,20 \pm 0,10$	116,0

Після повторної пастеризації, порівняно зі значеннями рН сосисок до пастеризації, зміщення рН спостерігалось тільки у сосисок з часткою сухої молочної сироватки в кількості 2%.

Водозв'язувальна здатність в усіх зразках після пастеризації була вищою, ніж у непастеризованих сосисок, що дає змогу зробити висновок про функціонально-технологічну термостабільність розроблених сосисок з використанням сухої молочної сироватки і харчової крові у заданих рецептурних співвідношеннях за впливу повторної пастеризації.

Узагальнені показники сенсорної оцінки пастеризованих сосисок за 5-бальною шкалою наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Узагальнені середні значення сенсорної оцінки сосисок пастеризованих

Рецептура	Запах	Смак	Пружність	Зовнішній вигляд	Середня оцінка
Контроль	4,0	3,0	3,0	3,5	3,4
Рецептура 1	4,5	4,5	4,3	5,0	4,5
Рецептура 2	3,0	4,0	3,5	4,0	3,6
Рецептура 3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Рецептура 4	4,5	5,0	4,3	5,0	4,7

З даних табл. 5 видно, що всі варіанти пастеризованих сосисок з використанням харчової крові, сухого знежиреного молока і молочної сироватки не поступаються контролю. При цьому використання в складі рецептур харчової крові в кількості 3—6% зі збільшенням частки молочних білоквмісних компонентів до 8% дає змогу досягати високих сенсорних показників сосисок, з використанням повторної пастеризації. Отримані результати дають змогу рекомендувати визначені співвідношення для розробки нового асортименту ковбасних виробів на основі харчової крові з використанням повторної пастеризації.

Висновки

Проведені дослідження використання в складі рецептур фаршевих систем сухого знежиреного молока, молочної сироватки та крові харчової виявили нелінійну залежність плинності фаршів при внесенні цих наповнювачів у кількості більшії 12%, що дає змогу передбачувати зміну реологічних показників фаршів при розробленні нових рецептур ковбасних виробів.

Дослідження фізико-хімічних і функціонально-технологічних показників ковбасних виробів до та після пастеризації підтверджують ефективність стабілізації фаршевих систем на основі традиційних видів м'ясної сировини для проведення повторної пастеризації при використанні в складі рецептур харчової крові в кількості 3—6% зі збільшенням частки молочних білоквмісних компонентів до 8%.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення впливу умов пастеризації на термін зберігання ковбасних виробів і показники біологічної цінності розроблених рецептур сосисок пастеризованих.

Література

1. Marco I. (2017). Development of innovative analytical methods for meat products safety and quality assurance: The MPSQA project. J Food Microbiol Saf Hyg, 2(2). P. 28—34. doi: 10.4172/2476-2059-c1-002.

2. Українець А. І., Пасічний В. М., Желуденко Ю. В., Полумбрик М. М. Вплив білоквмісних композицій на основі колагену на якість ковбасних виробів. *Харчова наука і технологія*, 2016. № 3. С. 50—55. <https://doi.org/10.15673/fst.v10i3.181>.
3. Пасічний В. М., Мороз О. О., Захандревич О. А. Дослідження характеристик м'ясних фаршів з використанням в процесі посолу молочної сироватки та сухого молока. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гіжцького*, 2008. 10(2—5). С. 101—104.
4. Сімахіна Г. О. Концепція оздоровчого харчування та шляхи її реалізації. *Наукові праці НУХТ*, 2010. С. 23—26.
5. Чернюшок О. А., Кочубей—Литвиненко О. В., Василів В. П., Дашковський Ю. О., Ардинський О. В., Федоренко Л. А. Сироватка молочна—біологічно цінний продукт. *Харчова наука і технологія*. 2011. № 1. С. 40—42.
6. Пасічний В. М., & Захандревич О. А. Характеристики основної м'ясної сировини та субпродуктів для виробництва ковбасних виробів вареної групи. *М'ясное дело*, 2008. С. 39—42.
7. Sjems R. A. Pererabotka mjasa pticy. Pod red. Alana R.; per. s angl. Pod nauchnoj redakciej Gushhina V. V. SPb. Professija, 2007.
8. Strashynskiy I. M., Fursik O. P., Pasichnyi V. M., Marynin A. I., & Honcharov H. I. Vplyv funktsionalnoi kharchovoi kompozytsii na vlastyvyosti miasnykh farshevykh system. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij*. 2016. № 11(84). С. 53—58. doi: 10.15587/1729-4061.2016.86957.
9. Ilea R. Intensive Livestock Farming: Global Trends, Increased Environmental Concerns, and Ethical Solutions. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 2009. № 22(2). P. 153—167. doi: 10.1007/s10806-008-9136-3.
10. Nohr D. and Biesalski H. K. Mearthy food: meat as a healthy and valuable source of micronutrients. *Animal*. 2007. № 1(02): p. 309—316.
11. Cravens W. W., Plants and Animals as Protein Sources. *Journal of Animal Science*. 1981. № 53(3). P. 817—826.
12. Arneth W. Die ernährungsphysiologische Bedeutung von Fleisch, in Kulmbacher Reihe Band 18 — Chemie des Lebensmittels Fleisch. Bundesanstalt für Fleisch forschung: Kulmbach, 2003. P. 178—212.
13. Khorunzha T., Pasichnyi V., Marynin A., Svyatnenko R., & Moroz O. Pasteurized sausages with high heme iron content. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2019. № 21(91). P. 43—47. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9108>
14. Левіт І. Б., Сукманов В. О., & Афенченко Д. С. Реологічні характеристики як відображення технологічних та споживчих властивостей м'ясо-молочних напівфабрикатів. *Вісник Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського*, 2014. Сер.: Технічні науки, (1). С. 112—126.
15. Williams P. A., Phillips G. O. "Introduction to food hydrocolloids", Handbook of hydrocolloids. Second edition, Woodhead Publishing Limited, 2009. P. 12.
16. Кишенько І. І., Старцова В. М., Гончаров Г. І. Технологія м'яса та м'ясопродуктів. Практикум: навч. Посібник, 2010. Нац. ун-т харч. технол. Київ: НУХТ.
17. Клименко М. М. Технологія м'яса та м'ясних продуктів. К.: Вища освіта, 2006. 638 с.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF COLD ACID HYDROLYSIS OF POTATO STARCH

M. Alekseenko

*Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

V. Litvyak, A. Sysa

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

E. Hrabovska, O. Galenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Starch
Potatoes
Hydrolysis
Paste
Modification*

Article history:

Received 11.05.2020
Received in revised form
22.05.2020
Accepted 02.06.2020

Corresponding author:

V. Litvyak
E-mail:
besserk1974@mail.ru

ABSTRACT

As the object of study, we used native potato starch produced by the VMFA ChMP (Chernihiv, Ukraine) and acid-hydrolyzed potato starch. Acid hydrolysis was carried out for 1—24 hours at 25—55°C, in the presence of HCl at pH 0.1—0.6 N. The content of dry matter of acid-hydrolyzed starch in the supernatant of the filtrate was determined refractometrically, and a gelling ability and fluidity of the paste were also studied. The technological regimes of acid hydrolysis were optimized using the Statistica 8 application software package.

The technological modes of acid hydrolysis (acid concentration, temperature and hydrolysis time) of potato starch were optimized depending on its basic physicochemical properties (amount of dry matter in the supernatant, fluidity and gelling ability of the paste).

It was found that for potato acid-hydrolyzed starch, the minimum fluidity of the paste is at an optimum of 93.9 (processing temperature 23.6°C, processing time 7.9 hours and the concentration of HCl — 0.315 N.), the maximum gelling ability of the paste is after the transition point of 7.6 (temperature treatment time of 36.7°C, processing time of 18.9 hours and a HCl concentration of 0.65 N.), the minimum dry matter in the supernatant is after the transition point of 1.05 (treatment temperature of 39.1°C, processing time of 11.2 hours and HCl concentration 0.44 N.).

The interrelation of technological modes of acid hydrolysis of starch (temperature, acid concentration, time) with the technological characteristics of modified starch (concentration of dry matter in the supernatant of starch suspension, fluidity and gelling ability of starch paste) is found and optimal (maximum and minimum) process points are determined.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ КИСЛОТНОГО ГІДРОЛІЗУ КАРТОПЛЯНОГО КРОХМАЛЮ

М. С. Алексєєнко

*Науково-практичний центр Національної академії наук Білорусі
з продовольства, м. Мінськ, Республіка Білорусь*

В. В. Літвяк, А. Г. Сиса

Білоруський державний університет, м. Мінськ, Республіка Білорусь

Е. В. Грабовська, О. О. Галенко

Національний університет харчових технологій

У статті як об'єкт дослідження використані нативний картопляний крохмаль виробництва ЧМП «Вітал» (м. Чернігів, Україна) і кислотногогідролізований картопляний крохмаль. Кислотний гідроліз проводили протягом 1—24 год при 25—55°C, наявності HCl при pH 0,1—0,6 н. Вміст сухих речовин кислотногогідролізованного крохмалю в надосадовій рідині фільтрату визначали рефрактометрично, також проведено дослідження на желювальну здатність і плинність клейстеру. Оптимізацію технологічних режимів кислотного гідролізу здійснювали за допомогою пакета прикладних програм Statistica 8.

Проведена оптимізація технологічних режимів кислотного гідролізу (концентрації кислоти, температури і часу гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількості сухих речовин у надосадовій рідині, плинності і желювальної здатності клейстеру).

Встановлено, що для картопляного кислотногогідролізованного крохмалю мінімум плинності клейстеру знаходиться в оптимумі 93,9 (температура оброблення 23,6°C, час оброблення 7,9 год і концентрація HCl 0,315 н.), Максимум желювальної здатності клейстеру досягається після точки переходу 7,6 (температура обробки 36,7°C, час обробки 18,9 год і концентрація HCl 0,65 н.), мінімум сухих речовин в надосадовій рідині — після точки переходу 1,05 (температура оброблення 39,1°C, час оброблення 11,2 год і концентрація HCl 0,44 н.).

Знайдено взаємозв'язок технологічних режимів кислотного гідролізу крохмалю (температура, концентрації кислоти, час) із технологічними характеристиками модифікованого крохмалю (концентрація сухих речовин у надосадовій рідині крохмальної суспензії, плинність і желювальна здатність крохмального клейстеру) і визначено оптимальні (максимальні і мінімальні) точки процесу.

Ключові слова: крохмаль, картопля, клейстер, модифікація, гідроліз.

Постановка проблеми. Питання удосконалення процесів отримання модифікованих крохмалів є актуальними як серед виробників, так і серед науковців, що підтверджується значною кількістю наукових статей у провідних наукових журналах [1—9].

Вперше каталітичні реакції отримання глюкози при нагріванні крохмалю з розбавленої сірчаної кислоти були відкриті в 1811 р. К. С. Кірхгофом [10]. Оп-

тимізація процесу кислотного гідролізу для вивільнення вільної глюкози із крохмалю і нині залишається актуальною науковою проблемою [11; 12].

Багато відомих на сьогодні методів кислотного гідролізу крохмалю засновані на каталітичній реакції К. С. Кірхгофа [10] і пов'язані з попередньою клейстеризацією крохмалю, тобто з руйнуванням крохмальних гранул [10—14]. Оптимізаційні аспекти крохмального гідролізу в основному визначаються як скорочення витрат на процес клейстеризації (руйнування крохмальних гранул) для подальшого розщеплення полімерних ланцюгів крохмалю за допомогою мінеральної кислоти або амілолітичного ферменту [13]. Так, наприклад, відомий спосіб гідролізу крохмалю під тиском [14].

Руйнування надмолекулярної (гранулярної) структури крохмалю, яке здійснюється при клейстеризації, суттєво змінює властивості крохмалю [2; 15]. Крохмальний клейстер не технологічний. Клейстер важко обезводити та сушити (в ньому міститься багато зв'язаної води), він володіє підвищеною адгезією (липкістю), має обмежені терміни зберігання тощо. Надмолекулярна (гранулярна) структура має значний вплив на прояв фізико-хімічних властивостей крохмалю [16]. При отриманні модифікованих крохмалів (крохмалів з цілеспрямовано зміненими фізико-хімічними властивостями) в більшості випадків необхідне збереження крохмальних гранул [1; 17; 18].

Останнім часом відомі одиничні праці, присвячені питанню зменшення молекулярної маси крохмалю зі збереженням його надмолекулярної (гранулярної) структури. Так, запропонований безперервний електролітичний гідроліз гранульованого картопляного крохмалю за допомогою індуктивної методики [19]. Однак дослідження технології холодного кислотного гідролізу крохмалю, яка здійснюється при температурах нижчих за температуру клейстеризації крохмалю (50°C та нижче), у вільному доступі практично відсутні. Так, була знайдена тільки одна наукова праця, частково присвячена вивченню холодного гідролізу крохмалю, де описується отримання наночастинок кристалічного крохмалю з використанням холодного кислотного гідролізу та ультразвуку [20].

Актуальною проблемою крохмалевиробництва є використання інноваційних технологій для повної безвідходної переробки сировини, зниження собівартості готової продукції для підвищення її конкурентоспроможності та впровадження енергозберігаючих технологій [1; 2; 4].

Мета дослідження: оптимізувати технологічні режими кислотного гідролізу (концентрації кислот, температури і часу гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількість сухих речовин у надосадовій рідині, плинності та желувальної здатності клейстеру).

Матеріали і методи. Як об'єкт дослідження були використані нативний картопляний крохмаль виробництва ПМП «Вітал» і кислотногогідролізований картопляний крохмаль.

Кислотний гідроліз крохмалю. До наважки крохмалю масою 60 г додавали 77 мл соляної кислоти (HCl) різної концентрації (табл. 1), суміш ретельно перемішували для рівномірного розподілу реагенту по поверхні крохмальних зерен. Процес проводили на водяній бані. Тривалість процесу змінювалася від 3 до 24 год в діапазоні температури від 25 до 55°C. Після закінчення процесу гід-

ролізу суміш нейтралізували розчином кальцінованої соди до рН 4,5—5,0. Далі до отриманого зразка додавали 50 мл спиртової суміші (25 мл C_2H_5OH + 25 мл H_2O), ретельно перемішували, а потім відокремлювали рідку фазу від крохмалю на паперовому фільтрі. Вологий крохмаль рівномірно розподіляли по поверхні фільтра і підсушували в сушильній шафі при температурі 40°C, після цього його просівали і відокремлювали крупку.

Фізико-хімічні методи. Вміст сухих речовин кислотного гідролізованого крохмалю в надосадовій рідині фільтрату визначали рефрактометрично за ISO 1743:1982 [21]. Отримані зразки кислотного гідролізованого крохмалю досліджували на желювальну здатність і плинність клейстеру [22; 23; 24].

Оптимізацію технологічних режимів кислотного гідролізу (концентрація кислоти, температура і тривалість гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількості сухих речовин у надосадовій рідині, плинність і желювальна здатність клейстеру) здійснювали за допомогою пакета прикладних програм Statistica 8.

У дослідженні обрано центральний композиційний ротатбельний план повного факторного експерименту 23 (ПФЕ ЦКРП 23), оскільки такий тип плану експерименту дає найбільш повну і точну картину про одержувану інформацію та рівномірно розподіляє її по всьому інтервалу факторного простору. При цьому відбувається мінімізація систематичних помилок, пов'язаних з неадекватністю представлення результатів поліномами другого порядку [14; 15].

За отриманими даними в ході проведення експериментальних досліджень складається математична модель, що являє собою відрізок полінома другого порядку:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_k \cdot X_k + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{(k-1)k} \cdot X_{k-1} \cdot X_k + b_{11} \cdot X_1^2 + \dots + b_{kk} \cdot X_k^2,$$

де Y — функція відгуку; b_0 — коефіцієнт рівняння регресії в нульовому значенні; $b_1, b_2, \dots, b_k$ — коефіцієнти при лінійній залежності; $b_{12}, b_{23}, b_{(k-1)k}$ — коефіцієнти при парній взаємодії факторів; X_1, X_2, X_k — фактори варіювання.

Для перевірки математичної моделі на адекватність використовували F -критерій (критерій Фішера) [25; 26], адже цей метод є найбільш зручним статистичним методом для перевірки адекватності моделі і перевірка зводиться до порівняння з табличними значеннями.

Значимість кожного коефіцієнта визначали перевіркою за критерієм Стюдента [27] за формулою:

$$t = \frac{|b_j|}{S_{\{b_j\}}},$$

де b_j — коефіцієнт при факторах варіювання в рівнянні регресії; $S_{\{b_j\}}$ — квадратична помилка коефіцієнтів регресії.

Для усунення впливу на функцію відгуку систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами, передбачені матрицею планування (табл. 1 і 2) досліди проводилися у випадковій послідовності.

Результати і обговорення. Для кислотного гідролізу крохмалю істотне значення має дотримання технологічного режиму, зокрема таких параметрів: кон-

центрація кислоти, температура і тривалість процесу. Отримані в ході експериментальних досліджень дані дали змогу виконати оптимізацію за допомогою методів математичного моделювання.

На першому етапі були проведені експериментальні дослідження з метою визначення оптимальних меж застосування технологічних параметрів для проведення модифікації (кислотного гідролізу) крохмалю, які надають можливість отримати кисло-модифікований крохмаль з визначеними фізико-хімічними властивостями. За результатами дослідження було встановлено рівні факторів та інтервали варіювання основних параметрів процесу (табл. 3).

Таблиця 1. Вибір необхідних досліджень за допомогою методу планування експерименту

№ дослідження	Умови проведення кислотного гідролізу			№ дослідження	Умови проведення кислотного гідролізу		
	Температура, °C	Тривалість, год	Концентрація HCl, н.		Температура, °C	Тривалість, год	Концентрація HCl, н.
1	25	3	0,2	11	37,5	1	0,35
2	50	3	0,2	12	37,5	24	0,35
3	25	22	0,2	13	37,5	13	0,1
4	50	22	0,2	14	37,5	13	0,6
5	25	3	0,5	15	37,5	13	0,35
6	50	3	0,5	16	37,5	13	0,35
7	25	22	0,5	17	37,5	13	0,35
8	50	22	0,5	18	37,5	13	0,35
9	20	13	0,35	19	37,5	13	0,35
10	55	13	0,35				

Таблиця 2. Рівні факторів та інтервали варіювання

Рівні факторів	Умови проведення кислотного гідролізу		
	Концентрація HCl, н.	Тривалість, год	Температура, °C
	X_1	X_2	X_3
Нижній рівень	0,2	3	25
Основний рівень	0,35	13	37,5
Верхній рівень	0,5	22	50
Інтервал варіювання	0,1	2	5
Рівень $-\alpha$	0,1	1	20
Рівень $+\alpha$	0,6	24	55

Друга серія дослідів полягала в дослідженні впливу технологічних умов модифікації (кислотного гідролізу) крохмалю: концентрація кислоти, температура і час обробки на властивості отриманого крохмалю. Експерименти проводили згідно з планом трифакторного експерименту другого порядку, який наведено в табл. 1.

Розв'язок задачі оптимізації передбачає розробку математичної моделі для вираження залежності показників кисло-модифікованого крохмалю від технологічних параметрів процесу. Математичні моделі, отримані при дослідженні технологічних об'єктів, дають змогу вирішувати ряд завдань, серед яких осо-

бливе місце займає задача пошуку оптимальних параметрів проведення процесу в досліджуваному об'єкті.

Для оцінки якості отриманого модифікованого крохмалю були визначені такі властивості і параметри крохмалю: плинність і желювальна здатність клейстеру отриманого кислотногогідролізованого картопляного крохмалю, а також вміст сухих речовин у фільтраті після зневоднення кислотногогідролізованого картопляного крохмалю. Отримані результати зведені в табл. 2.

Таблиця 3. Фізико-хімічні характеристики (плинність і желювальна здатність) клейстеру кислотногогідролізованого картопляного крохмалю (кількість сухих речовин залишається у фільтраті після зневоднення кислотногогідролізованого картопляного крохмалю)

Умови кислотного гідролізу			Плинність, с	Желююча здатність
Концентрація HCl, н.	Тривалість, год	Температура, °C		
0,2	3	50	95	9
0,5	3	50	96	9
0,2	22	50	96	7
0,5	22	50	97	7
0,1	13	37	98	6
0,35	13	37	94	7
0,35	13	37	94	7
0,6	13	37	98	7
0,2	3	25	95	2
0,5	3	25	97	6
0,2	22	25	98	8
0,5	22	25	99	8
0,35	13	55	98	8
0,35	13	20	95	3
0,35	1	37	97	5
0,35	24	37	98	9
Умови кислотного гідролізу			Вміст сухих речовин у фільтраті, %	
Концентрація HCl, н.	Тривалість, год	Температура, °C		
0,2	5,5	48	0,7	
0,5	5,5	48	0,9	
0,2	19,5	48	0,6	
0,5	19,5	48	0,8	
0,15	12,5	37,5	0,1	
0,35	12,5	37,5	0,88	
0,35	12,5	37,5	1	
0,6	12,5	37,5	1	
0,2	5,5	27	0,2	
0,5	5,5	27	1	
0,2	19,5	27	0,2	
0,5	19,5	27	1,2	
0,35	12,5	55	1,4	
0,35	12,5	20	1	
0,35	1	37,5	1	
0,35	24	37,5	0,8	

У цих дослідженнях застосовувався ротатабельний план, для якого дисперсія відгуку є постійною в усіх точках, однаково віддалених від центру плану.

Використані позначення:

X_1 — концентрація соляної кислоти, н.;

X_2 — температура процесу, °С;

X_3 — тривалість процесу, год;

$Y_1(X_1, X_2, X_3)$ — плинність крохмального клейстеру;

$Y_2(X_1, X_2, X_3)$ — желювальна здатність крохмального клейстеру;

$Y_3(X_1, X_2, X_3)$ — вміст сухих речовин у надосадовій рідині крохмальної суспензії.

Результати проведеної оптимізації кислотного гідролізу картопляного крохмалю представлені на рис. 1—4.

Оптимізація за плинністю клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю. Особливості оптимізації технологічних режимів кислотного гідролізу за плинністю клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю представлені на рис. 1.

Узагальнене критеріальне рівняння залежності плинності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю від температури, тривалості обробки та концентрації кислоти має такий вигляд:

$$Y_1 = 94,4322 + 0,3199 \cdot X_1 + 0,9866 \cdot X_2 - 0,3828 \cdot X_3 + 1,2121 \cdot X_1^2 + 0,8822 \cdot X_2^2 + 1,7965 \cdot X_3^2 - 0,1956 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,0573 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,9051 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Статистично значимі ефекти (рівень $p < 0,05$) мають два квадратичних члени: ТРИВАЛІСТЬ (Q) і КОНЦЕНТРАЦІЯ HCl (Q), лінійну взаємодію змінних: ТРИВАЛІСТЬ і ТЕМПЕРАТУРА (рис. 4). Отже, квадратичні члени ТРИВАЛІСТЬ (Q) і КОНЦЕНТРАЦІЯ HCl (Q) та лінійна взаємодія змінних ТРИВАЛІСТЬ і ТЕМПЕРАТУРА дають значні ефекти.

Мінімум плинності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться в оптимумі (мінімум) 93,9 при температурі обробки 23,6°С, тривалості обробки 7,9 год та концентрації кислоти 0,315 н.

Оптимізація за желювальною здатністю клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю. Особливості оптимізації технологічних режимів кислотного гідролізу желювальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю представлені на рис. 2.

Узагальнене критеріальне рівняння залежності желювальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю від температури, тривалості обробки та концентрації кислоти має такий вигляд:

$$Y_2 = 6,7184 + 0,6221 \cdot X_1 + 1,1181 \cdot X_2 + 0,9723 \cdot X_3 - 0,0181 \cdot X_1^2 - 0,5200 \cdot X_2^2 + 0,4528 \cdot X_3^2 - 0,1718 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,8307 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,2468 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Статистично значимі ефекти (рівень $p < 0,05$) факторів у досліджуваному діапазоні відсутні, що підтверджується Картою Парето (рис. 4).

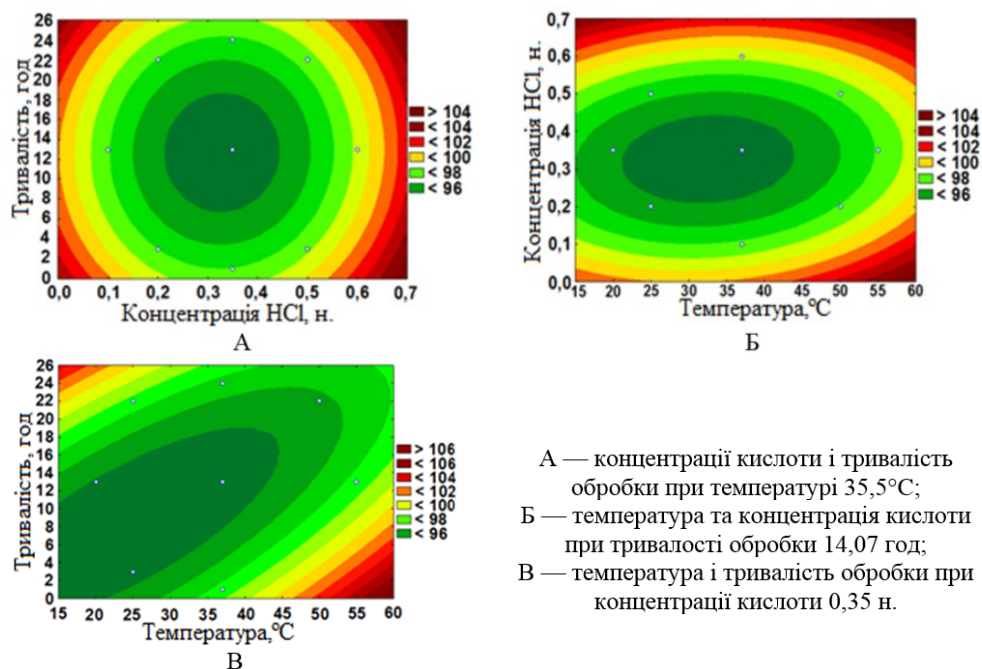


Рис. 1. Лінії рівня плинності клейстеру картопляного кислотногідролізованого крохмалю

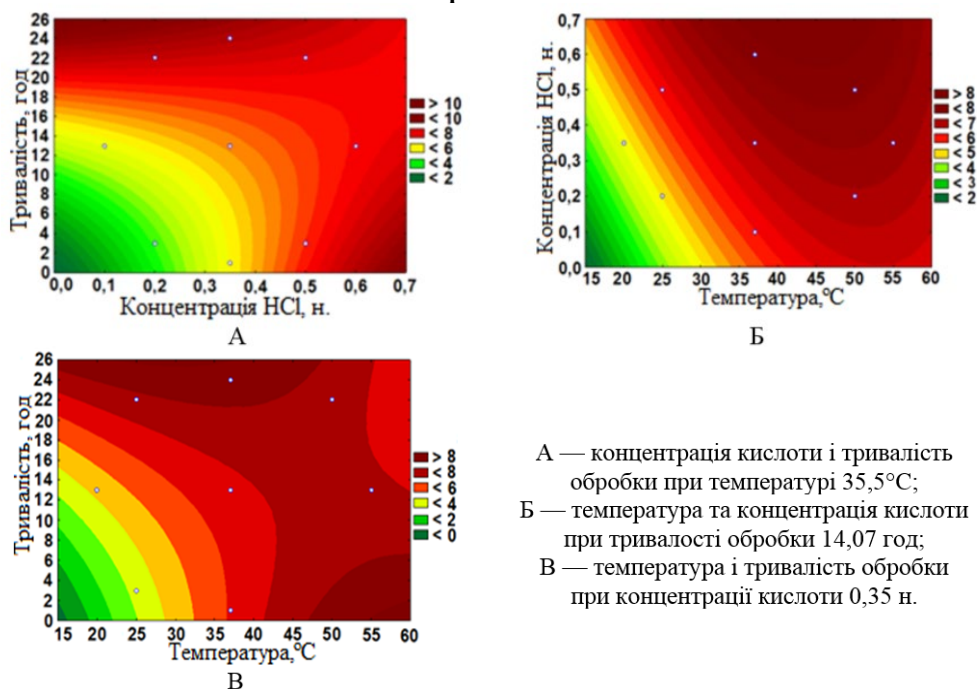


Рис. 2. Лінії рівня плинної здатності клейстеру картопляного кислотногідролізованого крохмалю

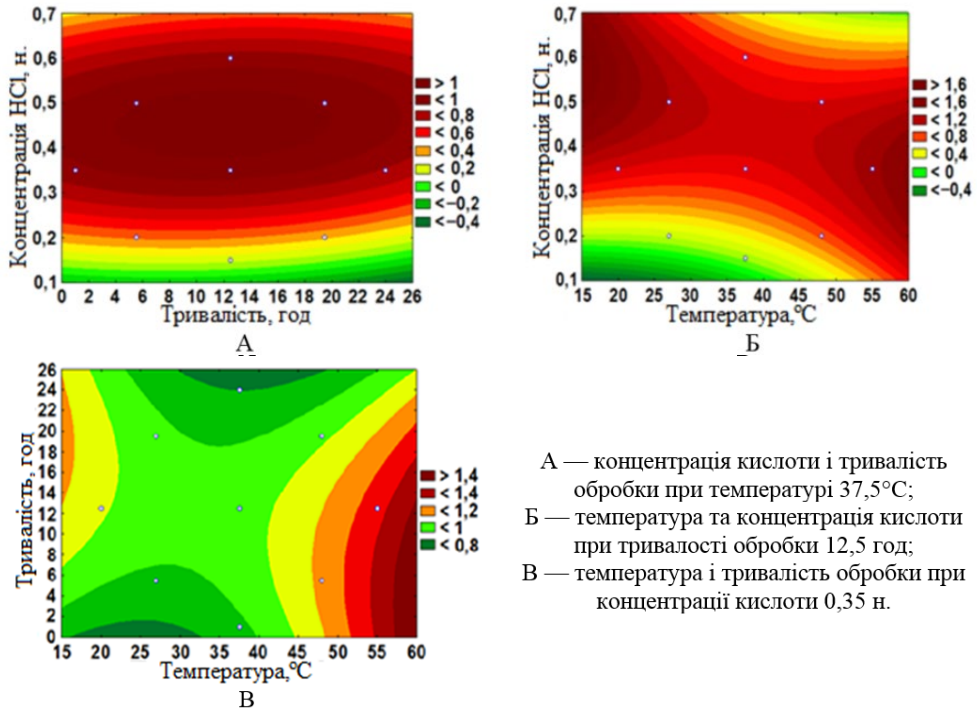


Рис. 3. Лінії рівня кількостей сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю

Максимум желувальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 7,6 при температурі обробки 36,7°C, тривалості обробки 18,9 год і концентрації кислоти 0,65 н.

Оптимізація за кількістю сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю. Особливості оптимізації технологічних режимів кислотного гідролізу за кількістю сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю представлені на рис. 3.

Узагальнене критеріальне рівняння залежності вмісту сухих речовин у фільтраті картопляного кислотногогідролізованого крохмалю від температури, тривалості обробки та концентрації кислоти має такий вигляд:

$$Y_3 = 0,9510 + 0,3127 \cdot X_1 + 0,0788 \cdot X_2 - 0,0245 \cdot X_3 - 0,2257 \cdot X_1^2 + 0,0656 \cdot X_2^2 - 0,0444 \cdot X_3^2 - 0,1750 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0250 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,0500 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Статистично значимі ефекти (рівень $p < 0,05$) мають лінійний член КОНЦЕНТРАЦІЯ HCl (L), квадратичний член КОНЦЕНТРАЦІЯ HCl (Q) та лінійну взаємодію змінних КОНЦЕНТРАЦІЯ і ТЕМПЕРАТУРА (рис. 4).

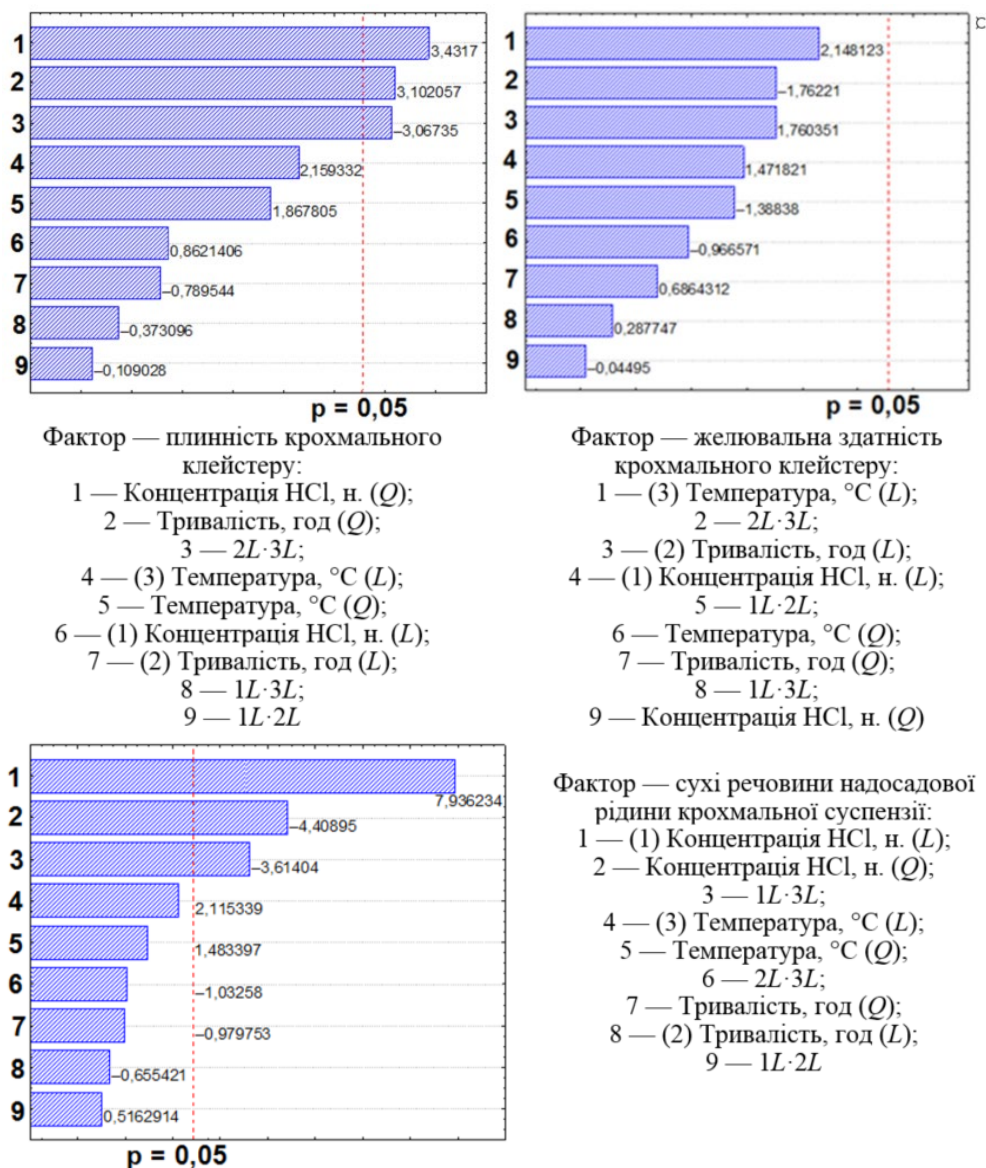


Рис. 4. Карты Парето впливу різноманітних факторів на процес крохмального гідролізу

Мінімум сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотно-гідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 1,05 при температурі обробки 39,1°C, тривалості обробки 11,2 год та концентрації кислоти 0,44 н.

Гідроліз крохмалю складний процес (рис. 5). Паралельно з гідролізом, що полягає в розщепленні полімерних ланцюгів крохмалю, проходить багато побічних хімічних реакцій (реакція меланоїдиноутворення, термічне руйнування глюкози, утворення фурфуролу тощо), а також здійснюється ресинтез (повторне

зшивання) полімерних ланцюгів крохмалю. При всьому різноманітті різних хімічних процесів, що відбуваються при гідролізі крохмалю, хімічну рівновагу зміщено в бік гідролітичного руйнування (1,4)- і (1,6)-глюкозидних зв'язків крохмалю.

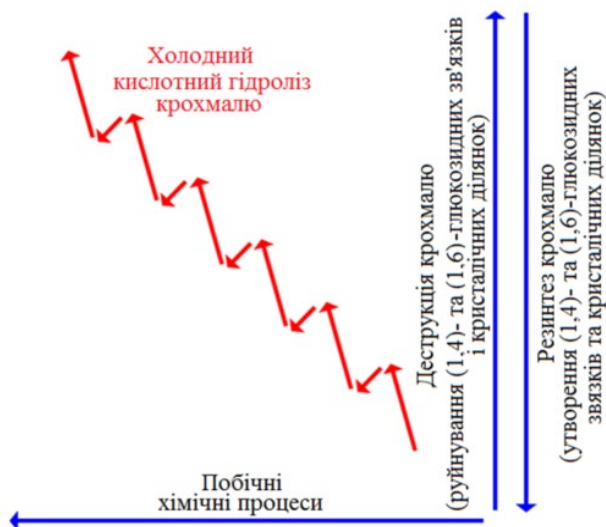


Рис. 5. Основні процеси холодного кислотного гідролізу крохмалю та їх напрямки

Висновки

Проведена оптимізація технологічних режимів кислотного гідролізу (концентрація кислоти, температура і тривалість гідролізу) картопляного крохмалю залежно від його основних фізико-хімічних властивостей (кількості сухих речовин у надосадовій рідині, плинності та желувальної здатності клейстеру).

Встановлено, що для картопляного кислотногогідролізованого крохмалю оптимум:

- мінімум плинності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться в оптимумі (мінімум) 93,9 при температурі обробки 23,6°C, тривалості обробки 7,9 год та концентрації кислоти 0,315 н.;
- максимум желувальної здатності клейстеру картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 7,6 при температурі обробки 36,7°C, тривалості обробки 18,9 год і концентрації кислоти 0,65 н.;
- мінімум сухих речовин у надосадовій рідині суспензії картопляного кислотногогідролізованого крохмалю знаходиться після точки переходу 1,05 при температурі обробки 39,1°C, тривалості обробки 11,2 год та концентрації кислоти 0,44 н.

Література

1. Kaur L., Singh J. Starch: Modified Starches. Encyclopedia of Food and Health. 2016. P. 152—159.
2. Litvyak V. Size and morphological features of native starch granules of different botanical origin. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7. Is. 4. P. 563—576.
3. Kuk R. S., Waiga L. H., Oliveira C. S., Bet C. D., Lacerda L. G., Schnitzler E. Thermal, structural and pasting properties of brazilian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) starch. *Ukrainian Food Journal*. 2017. V. 6. Is. 4. P. 674—685.

4. Elvers B. Ullmann's Food and Feed. Wiley-VCH, Weinheim: Werlag GmbH&Co, 2017.
5. Fan Jiang, Chunwei Du, Wenqian Jiang, Liying Wang, Shuang-kui Du. Physicochemical properties and structure of hydrothermally modified starches. *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 95. P. 88—97.
6. Xiangli Kong. Chapter 7: Starches Modified by Nonconventional Techniques and Food Applications/ Starches for Food Application. 2019. P. 271—295.
7. The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch / Fan Jiang, Chunwei Du, Wenqian Jiang, Liying Wang, Shuang-kui Du // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. (In press, corrected proof, Available online 15 November 2019).
8. Maurice C. R. Franssen, Carmen G. Boeriu. Chapter 6: Chemically Modified Starch; Allyl- and Epoxy-Starch Derivatives: Their Synthesis and Characterization / Maurice C. R. Franssen, Carmen G. Boeriu // *Starch Polymers*. 2014. P. 145—184.
9. Fan Zhu. Modifications of starch by electric field based techniques. *Trends in Food Science & Technology*. 2018. Vol. 75. P. 158—169.
10. Jaime Wisniak. The History of Catalysis. From the Beginning to Nobel Prizes. *Educ. quim*. 2010. Vol. 21, No. 1. P. 60—69.
11. Ram Chavan, Kunjan Saxena, Dhananjay Tigote. Optimization of Acid Hydrolysis Process for Free Glucose Recovery From Starch IJISET — *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 2015. Vol. 2, No. 12. P. 55—58.
12. Aborode Abdullahi Tunde. Production of Glucose from Hydrolysis of Potato Starch. *World Scientific News*. 2020. Vol. 145. P. 128—143.
13. Shujun Wang, Les Copeland. Effect of acid hydrolysis on starch structure and functionality: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2015. Vol. 55, No. 8. P. 1081—1097.
14. Hunter A. S., Talle E. A. Acid hydrolysis of potatoes under pressure. *American Potato Journal*. 1950. Vol. 27. P. 425—438.
15. Starch: Chemistry and Technology. 3rd Edition, Kindle Edition by James N. BeMiller (Editor), Roy L. Whistler (Editor). *Academic Press*. 2009. 894 p.
16. Raguin A., Ebenhöf O. Design starch: stochastic modeling of starch granule biogenesis. *Biochem. Soc. Trans*. 2017. Vol. 45, No. 4. P. 885—893.
17. Жушман А. И. Модифицированные крахмалы. М.: Пищепромиздат, 2007. 236 с.
18. Martins P. C., Gutkoski L. C., Martins V. G. Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *Int. J. Biol. Macromol*. 2018. Vol. 120. P. 959—965.
19. Dandan Li, Na Yang, Yamei Jin, Lunan Guo, Yuyi Zhou, Zhengjun Xie, Zhengyu Jin, Xueming Xu. Continuous-flow Electro-Assisted Acid Hydrolysis of Granular Potato Starch via Inductive Methodology. *Food Chem*. 2017. Vol. 229. P. 57—65.
20. Hee-Young Kim, Dong June Park, Jong-Yea Kim, Seung-Taik Lim. Preparation of Crystalline Starch Nanoparticles Using Cold Acid Hydrolysis and Ultrasonication. *Carbohydr. Polym*. 2013. Vol. 98, No. 1. P. 295—301.
21. ISO 1743:1982. Glucose syrup — Determination of dry matter content — Refractive index method. Available at: URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1743:ed-2:v1:en>.
22. Gülden Gökşen, Hacı Ibrahim Ekiz. Pasting and gel texture properties of starch-molasses combinations. *Food Science and Technology*. 2019. V. 39. No. 1. URL: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.27817>.
23. Штангеева Н. И., Чернявська Л. И., Рева Л. П. Методи контролю харчових виробництв: лабор. практикум: навч. посіб. Л. Київ, 2000. 240 с.
24. Черевко О. І., Крайнюк Л. М., Касілова Л. О., Димитрієвич Л. Р. Методи контролю якості харчової продукції: навч. посіб. Харків, 2005. 230 с.
25. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, Available at: URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>, Date of access: June 12, 2019.
26. Красовский Г. И., Филаретов Г. Ф. Планирование эксперимента. Минск: Изд-во БГУ, 1982. 302 с.
27. Ловкис З. В., Литвяк В. В., Петюшев Н. Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов. Минск: Асобный. 2007. 178 с.

THE STATE AND THE PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF THE DOMESTIC MARKET OF FROZEN FRUIT AND BERRY HALF PRODUCTS

G. Simakhina, S. Kaminska

National University of Food Technologies

Key words:

*Market
Freezing
Fruit and berries
Investments
Restaurant food sphere*

Article history:

Received 03.04.2020
Received in revised form
15.04.2020
Accepted 18.05.2020

Corresponding author:

G. Simakhina

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Nowadays the market of frozen fruit and vegetable products is actively developing, and the main part in it belongs to frozen fruit and berries. Food and processing branches have sufficiently high potentials to gain the volumes of this market. The leading countries of the world have estimated all the advantages of low-temperature technologies to process and store the agricultural raw materials. For example, frozen products make up to 70 percents of general consumption rate in the USA; in addition, this figure in Europe makes up approximately 20 percents and continues to grow. On the other hand, these indices in Ukraine are far lower, and this becomes a precondition to develop and expand the market of frozen fruit and vegetable products in order to reach the level of the leading countries gradually. Along with that, this is an urgent problem because fruit and berries are perishable materials, hence they should be long stored only in the frozen state. The quality of such products practically corresponds to the level of fresh raw material indices, including their organoleptic properties.

The authors of the article used the numerous academic materials to analyze the up-to-date market of frozen fruit and berries in Ukraine; elucidated the main reasons of Ukrainian market's backlog from foreign countries; proved the advantages of low-temperature technologies of plant raw preservation; defined the main factors of positive dynamics in development of domestic market; briefly characterized the prominent Ukrainian producers of frozen fruit and berries.

The authors made the completely objective conclusion about the perspectives of development of such a market in Ukraine, regarding the formed stable base of plant raw materials, including those wild, the real advantages of freezing fruit and berries over the other ways of preservation, the increase of the nutritional culture among the population and the priorities of healthy food, and also the broad advertising campaigns to expand the circle of consumers.

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТЧИЗНЯНОГО РИНКУ ЗАМОРОЖЕНИХ ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Г. О. Сімахіна, С. В. Камінська

Національний університет харчових технологій

На сьогодні ринок замороженої плодоовочевої продукції активно розвивається, і в ньому значну частку складають заморожені плоди і ягоди. Харчова та переробна галузі мають досить високий потенціал зростання обсягів такого ринку. Розвинуті країни світу вже давно оцінили всі переваги низькотемпературних технологій перероблення та зберігання сільськогосподарської сировини, і, наприклад, у США заморожені продукти складають до 70% у загальній структурі споживання, а в країнах близького зарубіжжя ця цифра становить 20% і продовжує зростати. В Україні аналогічні показники набагато нижчі, і це створює передумови для розвитку та розширення ринку заморожених плодоовочевих напівфабрикатів, аби досягти з часом рівня провідних країн світу. Водночас це й нагальна потреба — плоди та ягоди швидко псуються, і тривале зберігання можливе лише у замороженому стані. Якість такої продукції практично відповідає рівневі показників свіжої сировини, включаючи органолептичні властивості.

У статті на основі численного наукового матеріалу здійснено аналіз сучасного ринку заморожених плодів і овочів в Україні, з'ясовано основні причини відставання обсягів вітчизняного ринку замороженої продукції від зарубіжних країн; обґрунтовано переваги низькотемпературних технологій консервування рослинної сировини; визначено основні чинники позитивної динаміки розвитку вітчизняного ринку та дано коротку характеристику основним українським виробникам заморожених плодів і ягід.

Зроблено цілком об'єктивний висновок щодо перспектив розвитку такого ринку в Україні, виходячи зі сформованої стабільної бази сировини, в тому числі дикорослої, реальних переваг заморожування плодів і ягід перед іншими способами консервування, зростання культури харчування населення і пріоритет здорової їжі, а також широкої реклами для збільшення кола споживачів.

Ключові слова: ринок, заморожування, плоди і ягоди, інвестиції, сфера ресторанного харчування.

Постановка проблеми. Останнім часом на світовому ринку виробляється і споживається велика кількість замороженої плодово-ягідної та овочевої сировини. Лідерами у її споживанні є Велика Британія, Німеччина, Франція — понад 100 кг в рік на душу населення [1]. В Україні ця частка поки що майже в 20 разів менша.

На ринку замороженої плодоовочевої продукції в Україні у роздрібній торговельній мережі переважають в основному заморожені фрукти і овочі виробництва польських фірм (Zgoda, Hortex та ін.), що зумовлено високою конкурентоспроможністю продукції польського виробництва. Серед країн-

постачальників є Франція, Німеччина, Молдова (2,5% від всього обсягу ввозу даної продукції), Італія (2,1%) [2].

Загалом на вітчизняному ринку представлено більше десятка торговельних марок українських і європейських виробників заморожених овочів і фруктів, майже 80 відсотків реалізованої в роздріб плодоовочевої замороженої продукції завозиться з-за кордону.

Можна зазначити кілька основних проблем, які уповільнюють подальший розвиток галузі заморожених напівфабрикатів:

- відсутність достатньої кількості вітчизняного устаткування для шокового заморожування плодів та овочів;

- нестача кваліфікованих фахівців, які розуміються на сучасних процесах заморожування, їхніх особливостях, здатних розвивати та засвоювати нові технології орієнтовані на мінімізацію втрат цінних БАР при заморожуванні, зберіганні й дефростації біоб'єктів;

- складність залучення необхідних фінансових ресурсів для впровадження інновацій у виробництво;

- висока залежність формування ціни на заморожену продукцію залежно від урожаю та попиту на неї.

Справді, сезонний чинник сильно виражений. За оцінками експертів [3], у літні та осінні місяці рівень продаж знижується вдвічі порівняно із зимово-весняним періодом.

Проте ці проблеми поступово розв'язуються, і ринок вітчизняної замороженої плодоовочевої продукції невідносно зростає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій за напрямом статті дає можливість з'ясувати як ті проблеми, що стоять перед формуванням ринку заморожених рослинних напівфабрикатів, так і об'єктивні передумови його розвитку, спонукаючи до розроблення та впровадження нових технологій. Передусім усе більш очевидними стають переваги низькотемпературного перероблення сировини та її зберігання перед іншими методами консервування. Серед них — висока якість заморожених продуктів протягом усього періоду зберігання (до 1 року і більше); їхні смакові та кольорові характеристики, близькі до натуральних, що насамперед приваблює і сектор громадського харчування, і індивідуальних споживачів.

Важливим чинником є можливість повноцінної заміни свіжих плодів та ягід замороженою високовітамінною продукцією в міжсезонний період. Виробників приваблює стабільний сировинний ринок, у тому числі за рахунок дикорослої сировини, з прогнозованими обсягами заготівель і укладанням довгострокових контрактів за фіксованими цінами [4].

Важливого значення набувають інновації в технологіях заморожування, плодово-ягідної сировини, які ґрунтуються на використанні широкого спектра кріопротекторів органічної та мінеральної природи [5], на вивченні і впровадженні способів заморожування ягід з ніжною та щільною покривною тканиною [6], розробленні раціональних методів дефростації заморожених напівфабрикатів з мінімальними втратами клітинного соку [6], створенні системи управління безпекою виробництва заморожених плодів і ягід на етапах життєвого циклу на основі принципів НАССР [7] тощо.

Це відкриває широкі перспективи для вітчизняних виробників замороженої продукції і дає підстави прогнозувати його позитивну динаміку.

Основні чинники таких прогнозів:

- постійне зростання серед населення України культури харчування і розуміння ролі компонентів харчових продуктів у забезпеченні нормального функціонування всіх органів та систем організму і, як наслідок, збільшення попиту на заморожені плоди і ягоди;

- висока якість заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів і можливість диференційованого підходу до їх створення: експертне опитування показало, що композиційні суміші користуються великою популярністю у роздрібного покупця, а на монопродукцію (з одного виду сировини) більший попит відзначається з боку сфери ресторанного господарства, швидкого обслуговування, кулінарій супермаркетів [8];

- практично необмежені ресурси плодів і ягід, у тому числі із залученням дикорослої сировини, на території України забезпечують споживчий попит на будь-який смак. Декілька цифр: вітчизняні виробники ефективно переробляють лише 5...10% вирощеної плодово-ягідної продукції. В 2017 р. вирощено 2500 тис. тонн такої сировини, а перероблено лише 774 тис. тонн. На 2025 р. планується отримати 4333 тис. тонн плодів і ягід та переробити 1300 тис. тонн [9];

- річне споживання високоякісних заморожених плодів і ягід необхідно підняти до європейського рівня, тобто збільшити у 10—15 разів; така тенденція має реальну основу, адже згідно з офіційними даними, в Україні в 2016 р. було виготовлено 6352 тонни замороженої плодоовочевої продукції, а в 2018 р. — уже 8912 тонн, тобто приріст склав 40% [10];

- висока інвестиційна привабливість виробництва завдяки низьким цінам на сировину, постійно зростаючому попиту на швидкозаморожену продукцію різноманітного асортименту, нові технології вакуумного пакування (що не поступається імпортному) тощо, що гарантуватиме належну рентабельність і сприятливі терміни повернення інвестицій;

- світовий тренд натуралізації харчових продуктів і харчових інгредієнтів-збагачувачів відкриває широкі можливості використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів як безпосередньо, так і як поліфункціональних збагачувачів різних харчових середовищ, створюючи серйозну альтернативу шкідливим для здоров'я людини штучним добавкам;

- реальна можливість знизити залежність вітчизняного ринку від засилля імпортної продукції та посилити рівень продовольчої безпеки у сфері виробництва оздоровчих продуктів [11].

Аналізові сучасного стану вітчизняного ринку замороженої плодоовочевої продукції присвячено праці таких відомих науковців: В. І. Бойка, В. І. Власова, В. І. Криворучка, П. М. Макаренка, В. П. Рудя, П. Т. Саблука та ін. Проте із наведених вище матеріалів видно, що дослідження, вивчення та обґрунтування напрямів посилення конкурентних позицій вітчизняних виробників на ринку замороженої плодоовочевої продукції в Україні залишаються недостатніми та потребують більш багатоаспектного підходу до виявлення наявних проблем і перспектив розвитку цієї надзвичайно важливої галузі харчової промисловості загалом та індустрії здорового харчування зокрема.

Мета дослідження: здійснити огляд сучасної літератури з питання доцільності та необхідності інтенсивного розвитку українського ринку заморожених

плодово-ягідних напівфабрикатів як важливого чинника поліпшення здоров'я нації.

Викладення основних результатів дослідження. Про динаміку розвитку ринку заморожених напівфабрикатів свідчать такі цифри: у 2008 р. обсяг заморожених овочів та плодів зріс на 4% і 32% відповідно [12]. І це привернуло до ринку цієї продукції увагу потужних компаній, які почали витісняти з бізнесу невеликі фірми. З 2008 р. по 2010 р. спостерігався спад у випуску заморожених овочів на 70%, плодово-ягідної сировини — на 22,3%. З 2010 р. і до нинішнього часу ринок знову зростає.

Завдяки цьому частка імпортової замороженої плодовоовочевої продукції в загальному обсязі споживання щорічно зменшується. Так, якщо в 2007 р. ринок практично повністю був наповнений продукцією з-за кордону (78% овочів і 57% плодів), то в 2012 р. частка українського виробника склала вже 41% і 40% відповідно.

Однією з особливостей українського ринку заморожених напівфабрикатів є те, що виробництво фасованих заморожених плодів і ягід складає від 40 до 45%, решта продукції продається в нефасованому вигляді. Це пов'язано передусім із тим, що великий обсяг нефасованого продукту передбачено для подальшого перероблення або для продажу вроздріб. Він дешевший за аналогічний фасований продукт, однак з точки зору безпеки може містити ризики механічного, хімічного або мікробіологічного характеру. Тому перевагу в ході конкуренції отримують компанії, які вкладають інвестиції не лише у якість продукту, а й в упаковку; в кінцевому варіанті — в його просуванні на ринок, тобто створюють бренд, якому довіряють споживачі [13].

Отож нинішнє домінування на ринку вагової нефасованої продукції зрозуміле, оскільки це пов'язано з більш низькою її вартістю. Проте є реальні підстави сподіватись на поступове підвищення (хоча б у великих містах) попиту на заморожені плодово-ягідні напівфабрикати цінних сегментів «середній плюс» і «преміум»; розширення та популяризацію нових видів продукції підвищеної біологічної цінності, високої якості, безпеки і за доступною ціною.

Зростання попиту на швидкозаморожену плодово-ягідну продукцію в Україні приводить до розширення асортименту. І якщо згідно з ОСТ Ш-19-84 «Страви та напівфабрикати десертні швидкозаморожені. Технічні умови» асортимент продукції складався переважно з вишень (слив, яблук) у цукровому сиропі, то тепер, наприклад, компанія «Ольвіта» нараховує більш ніж 50 найменувань, і майже половина з них — заморожені лісові ягоди, садові ягоди та фрукти [14].

Український ринок заморожених продуктів у цілому та заморожених напівфабрикатів зокрема має свої особливості, пов'язані з національними стереотипами в культурі харчування більшості населення України та способом життя наших громадян. Попри те, що частка заморожених напівфабрикатів у загальному об'ємі продовольчого ринку України поки ще незначна, на сьогодні ринок показує стабільне зростання: за період з 2005 р. по 2018 р. у вартісному вираженні він збільшився майже вдвічі. Останні роки для ринку напівфабрикатів відзначалися активним ростом і розвитком, але поки говорити про повне його насичення рано. Підбиваючи підсумки роботи у 2018 р., оператори оцінили загальний об'єм ринку у 256 тис. тонн. Сегмент заморожених напівфабри-

катів в Україні становить 16—17% у структурі продовольчого ринку, однак він нижчий за показник США в 4 рази [15; 16].

Наведені факти свідчать про те, що останнім часом вітчизняний ринок замороженої плодової, ягідної та овочевої продукції знаходиться в стадії інтенсивного розвитку. Ця тенденція пояснюється зростанням обсягів виробництва сировини, залученням до сфери харчових технологій дикорослих плодів і ягід, підвищенням рівня обізнаності населення в особливостях здорового харчування, основою якого є плодоовочеві культури, і позитивними змінами в уподобаннях споживачів, розширенням сфери готельно-ресторанного харчування з її потребами у якісних заморожених напівфабрикатах тощо.

Більш того, зростають експортні поставки заморожених плодово-овочевих напівфабрикатів вітчизняних виробників — у 2017 р. вони склали понад 2,4 тис. тонн, що на 19% більше ніж у попередньому році. Лідерами за обсягами споживання цієї продукції виступають Польща, Італія, Німеччина та Швеція. Частка цих країн у загальному обсязі експорту даної продукції досягає 62%.

За даними щотижневого бюлетеня «Агроогляд: овочі та фрукти» (з посиленням на офіційну статистику), виробництво заморожених плодів та ягід в Україні в 2018 р. збільшилось у 9,13 рази. Тобто в минулому році обсяги національного виробництва зросли з 588 до 7103 тонн.

Україна є експортером ягід, тож кон'юнктура зовнішніх споживчих ринків має вплив на ринок ягід. Головною тенденцією на європейському ринку є зростання попиту на ягоди в північних країнах. Цікаво, що в північних країнах віддають перевагу темним ягодам (смородина, лохина).

Основна частина заморожених ягід відсилається до Польщі: разом із Італією вони займають близько половини загального обсягу поставок. Серед інших споживачів також здебільшого представлені країни Європейського Союзу.

Аналітики прогнозують у 2020—2021 рр. розвиток ринку, який формуватиметься відповідно до тенденцій експорту. Попит на ринках насамперед європейських країн стимулюватиме українські підприємства до збільшення випуску замороженої продукції [17].

Експерти прогнозують, що в разі збереження поточних тенденцій попиту на внутрішньому й зовнішньому ринках виробництво заморожених ягід в Україні буде помірно зростати за рахунок відновлення поставок чорниці та лохини.

Наша країна — в першій трійці з виробництва смородини з часткою в 3,7% від загальносвітового обсягу.

Заморожують плоди та ягоди 15 компаній, а лідерами за обсягами випуску стали ЗАТ «Фрау Марта», ТОВ «Краса», ТОВ «Арти», ТОВ «Грон» та ПП «Смілянська хłodня», які забезпечили 95% національного виробництва цієї продукції. Для прикладу: компанія «Смілянська хłodня», що на Черкащині, у 2017 році випустила 5 тис. тонн замороженої продукції з ягід, овочів і фруктів, 90% з яких було експортовано до 15 країн Євросоюзу [18].

Абсолютним лідером стало підприємство ЗАТ «Фрау Марта» (Черкаси) з показником 5,9 тис. т (або 83% національного виробництва). «Фрау Марта» є спільним проектом російських інвесторів та Європейського банку реконструкції і розвитку. Підприємство випускає заморожені овочі: зелений горошок, солодку кукурудзу, перець, цвітну капусту, броколі, цибулю. На експорт іде 95...97% продукції.

ТОВ «Краса» (Херсон) створено у 2002 році. Спеціалізується на заморожуванні ягід, кісточкових, баштанних культур. З 2005 р. реалізує продукцію під торговельною маркою «Дарус». ТОВ «Арти» (Харків) відзначається високоякісними свіжозамороженими сумішами для перших та других страв, фруктовими сумішами. ТОВ «Грон» (Дніпропетровськ). Компанію засновано у 2004 р., і її вважають експертом у виробництві та реалізації заморожених продуктів — ягід, фруктів, овочів у широкому асортименті, грибів.

Останнім часом набуває популярності продукція компанії «Сіріус-Агро» (Звенигородський район Черкаської області, с. Водяники). Компанія спеціалізується на вирощуванні, фасуванні, заморожуванні плодів і ягід та їх реалізації. Загальна площа полів для вирощування становить 1100 га. У червні 2008 р. відкрито завод для шокowego заморожування фруктів і ягід. Проектна потужність виробничих ліній заморожування продукції становить 5500 т/рік. На сьогодні завод цієї компанії вважається одним із найкращих і найпотужніших у Європі. Його продукцію сертифіковано і підтверджено Центром стандартизації й метрології України.

Відомо, що доброякісну продукцію можна отримати лише з якісної сировини. І з цієї точки зору доцільно зазначити, що компанія «Сіріус-Агро» має особливий підхід до вирощування фруктово-ягідної сировини. Передусім ця особливість полягає в тому, що при вирощуванні використання інсектицидів та гербіцидів зведено до мінімуму, тому отримана сировина є екологічно чистою і безпечною для споживача.

Науково обґрунтовані всі етапи технологічного ланцюжка — від збирання врожаю до зберігання готової продукції. Так, сировину з місця збирання на завод доправляють у мінімальний термін — перевезення триває не більш ніж 2 год, щоб ягоди і фрукти не втратили кондиції. На заводі сировину розміщують у камері попереднього охолодження, де вона зберігається при температурі 5°C.

Особливістю технології, що використовується на цьому заводі, є шокове заморожування сировини. На сьогодні його розглядають як інноваційний підхід у холододових технологіях. Сутність шокowego заморожування полягає в тому, що процес відбувається протягом 15...20 хв при температурі -35...-40°C.

Усі зазначені компанією переконані, що виробництво, зберігання і реалізація ягід — дуже вигідний бізнес в Україні. З кожним роком у країні зростає попит на продукцію, а до зими стрибки цін на деякі ягоди можуть перевищувати вартість у 2—3 рази. Саме тому сьогодні дуже вигідно торгувати свіжозамороженими ягодами, наприклад: малиною, смородиною, чорницею, журавлиною, полуницею, вишнею, черешнею, сливою і виноградом. Вони не тільки добре продаються, а й чудово зберігаються — за умови, якщо використовується шокове заморожування ягід.

За альтернативними даними, отриманими від операторів ринку, виробництво плодів та ягід глибокого заморожування в Україні зросло максимум у 5,5 рази — з 1,4 тис. до 7,5...8,0 тис. т (різниця у цифрах зумовлена недосконалістю системи збору статистичних даних у вузьких галузях вітчизняної промисловості).

Обсяг імпорту склав понад 3 тис. тонн. Основна частина плодово-ягідної продукції реалізується в Україні у вигляді заморожених сумішей, частка яких складає 5% від усієї замороженої продукції.

Українські виробники конкурують як із вітчизняними, так і з зарубіжними компаніями — польськими (торговельні марки Hortex, Hortino, Felco), угорськими (Felco, Globus), французькими (Bonduelle) і бельгійськими (Emborg, Dujardin).

При цьому вітчизняні виробники конкурують в основному за ціною, зарубіжні — за асортиментом, «екзотичними» сумішами і сталістю пропозиції. На сьогодні лише продукція польських фірм за рядом найменувань (вишні, черешні) зрівнялася з рівнем цін українських аналогів; інші закордонні марки демонструють ціни на 20...50% вищі.

За дизайном упаковки, якістю самих плодів і досконалістю технологій заморожування вітчизняні виробники практично зрівнялися зі своїми закордонними колегами. Також український виробник забезпечує наявність своїх продуктів у великих точках продажу. Віднедавна українські компанії освоїли також випуск замороженої ягідної продукції, що ефективно конкурує із закордонною за ціною при тому ж рівні якості. До альтернативи можна віднести й заморожену солодку кукурудзу в качанах.

Згідно з визнанням українських операторів ринку, ще не всі дистриб'ютори й оптовики гарантують збереження температурного режиму в процесі транспортування продукції від виробника до роздрібного торговця. Та й у торговельних установах спостерігається невідповідність температурних режимів зберігання продукції, в результаті чого вона втрачає товарний вигляд і споживчі якості. За прогнозами, споживчий ринок швидкозамороженої продукції зростатиме незначно (близько 10%), а загальний збільшиться до 7,0...7,5 тис. тонн.

Сегмент свіжозамороженої плодово-ягідної продукції становить в Україні лише близько 5% загального ринку. Дослідники вважають, що ця продукція на ринку малопопулярна з тієї причини, що практично кожен господар успішно заморожує ягоди в домашньому холодильнику. Це дає змогу заощаджувати до 50% витрат — свіжі ягоди коштують у 1,5...2 рази менше, ніж заморожені.

На прикладі аналізу діяльності провідних підприємств «Смілянська хłodня», «Фрау Марта», «Грон», «Краса», «Арти» очевидним є те, що сьогодні в українській індустрії заморожених плодів та ягід на перший план виходить орієнтація на закордонні ринки. Експорт заморожених плодів з України за останні 5 років значно збільшився і склав, згідно зі статистичними даними, близько 3600 тонн.

Серед критеріїв, що визначають вибір замороженої плодово-ягідної продукції покупцем, основними є популярність марки. Потім звертають увагу на ціну продукту та його смакові якості.

Висновки

Український ринок змороженої плодово-ягідної продукції, який донедавна був орієнтований в основному на імпортні вироби, невпинно зростає. В останні роки представники іноземного капіталу розглядають Україну не лише як об'єкт для експорту продукції, а й як привабливого з точки зору інвестування виробника заморожених плодів і ягід. Заморожена плодово-ягідна продукція вигідно вирізняється з-поміж напівфабрикатів, консервованих іншими способами. Заморожені плоди і ягоди дозовані й фасовані, що дуже зручно для споживачів, торгівлі та ресторанного господарства. Для приготування страв витрати часу і праці мінімальні.

Маркетингові дослідження і вивчення потенційних можливостей реалізації заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів свідчать про постійно зростаючий попит на таку продукцію, яка за своїми якісними та органолептичними показниками майже не поступається свіжій сировині.

Є всі підстави прогнозувати інтенсивний розвиток вітчизняного ринку плодово-ягідних напівфабрикатів, їхню реалізацію як на вітчизняному, так і на світовому ринках.

Література

1. Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010—2018): звіт. URL: <http://www.ucca.org.ua/ua/information/news/21#>. Дата звернення: 21.01.2019.
2. Karolefski J. What Are the Most Important Food Trends Today? URL: <http://www.cpgmatters.com/International0612.html>. Дата звернення: 21.01.2019.
3. Лосев А. Формирующийся рынок замороженных овощей и ягод. *Продукты питания*. 2005. № 17. С. 17—21.
4. Заморозка овощей и фруктов. URL: <http://www.fabs.ru/produkcija/shokovaja-zamorozka.html>. Дата звернення: 08.06.2019.
5. Сімахіна Г. О., Халапсіна С. В. Перспективи використання кріопротекторів в інноваційних технологіях заморожування плодово-ягідної сировини. *Международный научный журнал "Acta Universitatis Pontica Euxinus". Специальный выпуск*. Т. 2. Варна, 2013. С. 141—144.
6. Сімахіна Г. О., Халапсіна С. В. Отримання заморожених напівфабрикатів дикорослих ягід зі щільною покривною тканиною. *Наукові праці НУХТ*. 2016. № 3. С. 198—206.
7. Simakhina G., Naumenko N., Bazhay-Zhezherun S., Kaminska S. Impact of cryoprotection on minimization of ascorbic acid losses in freezing of berries. *Ukrainian Food Journal*. 2019. Vol. 8. #2. P. 271—283.
8. Сімахіна Г. О., Камінська С. В., Науменко Р. Ю. Оцінка безпеки швидкозаморожених плодово-ягідних напівфабрикатів на основі принципів системи НАССР. *Міжнародна науково-практична конференція «Discovery Science»*. 17 травня 2019 р., м. Карлові Вари, Чехія. 2019. С. 38—49.
9. Орлова Н. Я., Белінська С. О. Заморожені плодовоовочеві продукти: проблеми формування асортименту: монографія. Київ: КНТЕУ, 2005. 336 с.
10. Сало І. А., Попова О. П. Розвиток українського ринку плодів і ягід в умовах глобалізації. *Садівництво. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 2019. Вип. 74. С. 160—170.
11. Мостовой Ю., Шубина Г. Рынок плодовоовощной заморозки — взгляд специалистов. *Продукты и ингредиенты*. 2008. № 10. С. 64—68.
12. Руликівський В. П. Роль та місце продовольчої безпеки в системі забезпечення національної безпеки України. URL: <http://www.iet.ua>. Дата звернення: 05.01.2019.
13. Ткачев А. Высокое качество — «визитная карточка» бренда. *Брутто*. 2013. № 58. С. 28—32.
14. Чертилін І., Богуславський Ю. Свіжі й заморожені овочі та фрукти — дві грані одного бізнесу компанії. URL: <http://www.fruit-inform.com/ru/marketing/experience/47752#Uon3RdK8Avw>. Дата звернення: 18.01.2020.
15. Обзор рынка замороженных продуктов / Инвестиционная группа «Авантаж Капитал». URL: <http://www.avantazh-capital.com/>. Дата звернення: 19.09.2019.
16. Шубина Г. Рынок замороженных полуфабрикатов: общая ситуация. *Продукты и ингредиенты*. 2012. № 3 (89). С. 38—40.
17. Заморожені ягоди — гарний бізнес. URL: <https://day.kyiv.ua/uk/article/ekonomika/zamorozheni-yagody-garnyy-biznes>. Дата звернення: 22.07.2019.
18. «Смілянська хłodня» експортує 90% виробленої продукції. URL: <http://www.agrotimes.net/mir/smilyanska-hlodnya-eksportue-90-viroblenoyi-produkciyi->. Дата звернення: 21.07.2019.

MONITORING OF NITRATES AND MEASURES FOR THEIR REDUCTION IN PLANT PRODUCTS

E. Kostenko, V. Ganchuk, E. Butenko

National University of Food Technologies

Key words:

Ecological safety

Food-stuffs

Photometric analysis

Article history:

Received 03.04.2020

Received in revised form
14.04.2020

Accepted 13.05.2020

Corresponding author:

E. Kostenko

E-mail:

kostenkotlizaveta@
ukr.net

ABSTRACT

It has been established that the largest amount of nitrates (up to 5000 mg/kg) is accumulated by green crops (lettuce, dill, rhubarb), red beets, radishes, broccoli etc. Relatively little amount of nitrates is concentrated in potatoes, tomatoes, sweet peppers, onions, garlic, peas, and beans. It was established that the content of NO_3^- ions in the analyzed juices for two hours of their storage in an open container remained practically unchanged. A decrease in nitrates by 2.3...5% may be a mistake in determination, and a 2-hour storage of juices clearly does not lead to the reduction of nitrates to nitrites.

The results of a study of the effect of surface layer removal in some samples of plant products on the nitrate content were of practical importance. It was found that removing peels from vegetables and keeping them in water for 30...40 minutes before use is an effective measure to reduce nitrates by 30...40% in red beets, carrots, cucumbers, peppers, eggplants, and zucchini. The most sensitive to the nature of the toxic effect of nitrates will be the children of the first days and months of life, as well as the old people, patients with anemia, with a disease of the respiratory system, diseases of the cardiovascular system, which must be taken into account during cooking. Plant products by nitrate content can be divided into three groups: with a small — up to 100 mg/kg, medium — up to 1000 mg/kg and high — from 1000 mg/kg. Biological characteristics and varietal characteristics of plants, the nature of the soil, temperature and humidity of both soil and air, the intensity and duration of lighting, growing technology are the main factors that determine the accumulation of nitrates. Blanching reduces nitrate content by 3...15 times.

It was found that the use of ascorbic acid increases the rate of decomposition of nitrates. The nitrate content in some experimental samples, namely short-fruited and smooth cucumbers, is 116 mg/kg and 231 mg/kg, respectively, and does not exceed the MPC for this type of plant production (400 mg/kg). During the analysis, it was determined that banana nitrates contained 310 mg/kg. According to GOST, the safe norm of nitrates in bananas is 200 mg per 1 kg of body weight. It has been found that tomato contains 98 mg/kg of nitrate ions. The value of the maximum permissible concentration of nitrates for tomatoes grown in open ground is 150 mg/kg according to SanPiN 42-123-4619-88. This indicates that the content of nitrate ions is within normal limits.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-3-27

МОНІТОРИНГ НІТРАТІВ І ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ ЗМЕНШЕННЯ У РОСЛИННІЙ ПРОДУКЦІЇ

Є. Є. Костенко, В. Д. Ганчук, О. М. Бутенко

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати визначення нітратів в овочах та плодах, що найчастіше використовують на території України в раціоні харчування людини. Досліджено динаміку вмісту NO_3^- іонів у соках і вичавках з червоного буряку, моркви та інших рослинної продукції.

Встановлено, що найбільша кількість нітратів (до 5000 мг/кг) накопичується зеленими культурами (салат, кріп, ревінь), червоним буряком, редькою, броколі тощо. Відносно мало нітратів концентрують картопля, помідори, солодкий перець, цибуля, часник, горох, квасоля. З'ясовано, що вміст іонів в аналізованих соках протягом двох годин зберігання у відкритому контейнері залишається практично незмінним. Зниження нітратів на 2,3...5% може бути помилкою у визначенні, а двогодинне зберігання соків явно не призводить до скорочення нітратів до нітритів.

Практичне значення мали результати дослідження впливу видалення поверхневого шару в деяких зразках рослинної продукції на вміст нітратів. Встановлено, що видалення шкірки з овочів і тримання їх у воді за 30...40 хв до вживання є ефективним заходом для зниження нітратів на 30...40% у червоному буряку, моркві, огірках, перці, баклажанах і кабачках.

Рослинні продукти за вмістом нітратів можна розділити на три групи: з невеликою — до 100 мг/кг, середньою — до 1000 мг/кг і високою — від 1000 мг/кг. Біологічні характеристики та сортові характеристики рослин, характер ґрунту, температура та вологість як ґрунту, так і повітря, інтенсивність та тривалість освітлення, технологія вирощування — основні фактори, що визначають накопичення нітратів. Бланшування знижує вміст нітратів у 3...15 разів.

Ключові слова: нітрати, іон-селективний електрод, харчові продукти.

Постановка проблеми. Нітрати є незмінним атрибутом метаболізму азоту в природі, необхідною частиною азотного харчування рослин, без якого неможливі складні біологічні процеси синтезу білка. Вони є і будуть навіть якщо повністю відмовитись від використання мінеральних добрив при вирощуванні рослинної продукції, тобто наявність нітратів у рослинах — нормальне явище, але надлишкові кількості вкрай небажані, оскільки, за певних умов, нітрати відновлюються до нитритів, які реагують з гемоглобіном крові. В результаті утворюється метгемоглобін — речовина, що нездатна переносити кисень. Як наслідок, порушується нормальне дихання клітин і тканин організму людини. Особливо небезпечні нітрати для дітей до першого року та людей похилого віку, в організмі яких відновлення метгемоглобіну в гемоглобін відбувається повільно [1].

Основна маса нітратів (70...80% добової кількості) потрапляє в організм людини з рослинною продукцією (овочі та зелені культури). Незначні кількості

нітратів надходить з фруктами, ягодами, молочними та м'ясними виробами, питною водою. Тому постійний контроль плодоовочевої продукції та соків з них на вміст нітратів є актуальним завданням аналітичної хімії.

Біологічні особливості і сортові ознаки рослин, характер ґрунту, температура і вологість як ґрунту, так і повітря, інтенсивність і тривалість освітлення, технологія вирощування — це основні чинники, що зумовлюють накопичення нітратів.

Дані літератури про кількість нітратів у рослинній продукції суттєво відрізняються [3]. Рекомендації щодо технології переробки нітратвмісних зразків також потребують уточнень [5]. Тому **метою статті** є проведення моніторингу плодоовочевої продукції на вміст нітратів і розробка рекомендацій щодо їх зменшення.

Матеріали і методи. Реагенти. Приготування розчину алюмокалієвих галунів з масовою часткою 1% (екстрагуючий розчин). 10 г алюмокалієвих галунів зважували з точністю до першого десяткового знака та переносили у мірну колбу місткістю 1000 см³. Розчиняли у дистильованій воді, доводили об'єм розчину до мітки і перемішували.

Приготування 0,1 моль/дм³ розчину нітрату калію. 10,11 г нітрату калію, який попередньо висушували при температурі 100...105°C до сталої маси, зважували на аналітичних вагах та переносили у мірну колбу місткістю 1000 см³. Розчиняли в екстрагуючому розчині та доводили об'єм до мітки екстрагуючим розчином. Розчин може зберігатись не більше року. При появі каламуті або осаду розчин замінювали свіжоприготовленим.

Приготування серії стандартних розчинів нітрату калію. Серію стандартних розчинів нітрату калію готували з розчину, приготовленого в день проведення аналізу. Для розведення використовували одинвідсотковий розчин алюмокалієвих галунів.

Стандартний розчин з концентрацією нітрату калію 0,01 моль/дм³ ($pC_{NO_3^-} = -\lg C_{NO_3^-} = 2$). 0,1 М розчину нітрату калію розбавляли в 10 разів розчином алюмокалієвих галунів. Для цього відбирали піпеткою 10 см³ 0,1 М розчину в мірну колбу місткістю 100 см³, доводили об'єм до мітки розчином алюмокалієвих галунів і перемішували.

Стандартний розчин з концентрацією нітрату калію 0,001 моль/дм³ ($pC_{NO_3^-} = -\lg C_{NO_3^-} = 3$). 0,01 М розчину нітрату калію розбавляли в 10 разів розчином алюмокалієвих галунів.

Стандартний розчин з концентрацією нітрату калію 0,0001 моль/дм³ ($pC_{NO_3^-} = -\lg C_{NO_3^-} = 4$). Попередній 0,001 М розчину калію нітрату розбавляли в 10 разів розчином алюмокалієвих галунів.

Стандартну серію розчинів використовували для калібрування приладу, перевірки електродів і побудови градуального графіка.

Методики експерименту. Підготовка електродів до роботи. Мембранний іоноселективний нітратний електрод і хлоридсрібний електрод порівняння готували до роботи відповідно до інструкцій для електродів. У проміжках між про-

веденням досліджень мембранний іоноселективний електрод занурювали у дистильовану воду, а якщо перерва між вимірюваннями більше доби, електрод зберігали у 0,1 моль/дм³ розчині нітрату калію. При тривалих перервах між дослідженнями (5 діб і більше) електрод зберігали на повітрі. У всіх випадках перед початком вимірювань електрод витримували у дистильованій воді не менше 10 хв. Хлоридсрібний електрод порівняння, в перервах, між вимірюваннями зберігали в насиченому розчині хлориду калію.

Нітратселективний електрод та електрод порівняння ополіскували дистильованою водою та висушували фільтрувальним папером.

У склянку послідовно наливали стандартні розчини KNO₃, починаючи з розчину мінімальної концентрації (10⁻⁴ моль/дм³). Поміщали в налитий розчин KNO₃ електроди. Покази приладу знімали після припинення дрейфу стрілки іоніміра. При зміні розчинів склянку та електроди промивали невеликою кількістю стандартного розчину KNO₃. Вимірювання повторювали не менше трьох разів, починаючи щоразу з розчину мінімальної концентрації. Різниця значень потенціалу при вимірюванні розчинів KNO₃, які відрізняються за концентрацією в 10 разів, складала 56±6 мВ. Якщо така закономірність не встановлювалась, повторювали вимірювання або замінювали нітрат-селективний електрод на інший. Після проведення калібровки електроди ополіскували дистильованою водою. Отримані дані заносили у таблицю.

Розраховували середнє значення потенціалу $E_{\text{ср}}$ та будували градувальний графік залежності $E = f(p C_{\text{NO}_3^-})$, відкладаючи на осі абсцис значення $p C_{\text{NO}_3^-}$ які відповідають стандартним розчинам KNO₃, а на осі ординат — E , мВ.

Методика визначення нітратів у плодоовочевій продукції. Контроль нітратів здійснювали стандартним потенціометричним методом, чутливість якого складає 6 мг/кг [2]. Спочатку відбирали середні проби дослідних зразків, мили, подрібнювали та гомогенізували їх або розтирали у порцеляновій ступці до отримання однорідної маси. 10 г подрібненого матеріалу або вичавленого соку зважували на технічних терезах у склянці місткістю 100 см³. До досліджуваного матеріалу додавали 50 см³ 1% розчину алюмокалієвих галунів та гомогенізували суміш протягом 1 хв або перемішували склянкою паличкою протягом 15 хв. Електроди занурювали у суспензію і вимірювали потенціал індикаторного електрода. Вимірювання проводили тричі. Обчислювали середнє значення потенціалу. За градувальним графіком знаходили значення $p C_{\text{NO}_3^-}$ і розраховували $C_{\text{NO}_3^-} = 10^p C_{\text{NO}_3^-}$. Вміст нітрат-іонів (мг/кг) отримували, користуючись спеціальними таблицями [5].

Апаратура. Вимірювали різницю потенціалів отриманої суспензії за допомогою нітрат-селективного індикаторного електрода ЭМ-NO₃-01 і стандартного хлоридсрібного електрода. У процесі дослідження використовували іонімір И-160.

Результати та обговорення. Раціональне харчування людини неможливе без овочів, фруктів, а також соків з рослинної сировини, тому об'єктами дослідження були зразки овочів та фруктів, вирощені як у приватних, так і у державних господарствах.

Серед соків особливо корисними є буряковий і морквяний. Складові компоненти соку з червоного буряку беруть участь у покращенні формули крові та утворенні червоних кров'яних тілець, а сік з моркви є багатим джерелом β -каротину (провітаміну А), крім того, він збільшує опірність організму до інфекцій і підвищує енергію та силу людського організму. З іншого боку, при концентрації NO_3^- — іонів 100 мг/дм^3 соку чи води спостерігаються перші ознаки отруєння, при $1200 \dots 2000 \text{ мг } \text{NO}_3^- / \text{дм}^3$ — важкі отруєння з летальним кінцем. Тому здійснювався моніторинг нітратів у свіжовичавленому соці та після його зберігання протягом 2 годин.

У червоному буряці, моркві, картоплі, зразках томатів та огірків, бананах та апельсинах нітрати визначали як до, так і після видалення поверхневого шару (шкірки).

Проведені дослідження надають можливість стверджувати, що найбільшу кількість нітратів (до 5000 мг/кг) накопичують зелені культури (салат, кріп, ревінь), буряк червоний, редис, редька, капуста броколі тощо. Порівняно мало нітратів концентрують картопля, томати, солодкий перець, цибуля, часник, горох, квасоля. Середні кількості (до $1000 \text{ мг } \text{NO}_3^- / \text{кг}$) містять капуста, морква, огірки, селера, баклажани, корінь петрушки. Отримані дані наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Вміст нітратів у продукції рослинного походження (2019 р.)

Назва зразка	Вміст нітратів, мг/кг		ГДК, мг/кг
	мінімум	максимум	
з високим вмістом			
Червоний буряк	306 ± 6	8969 ± 16	1400
Шпинат	62 ± 4	6900 ± 15	2000
Салат	63 ± 4	6690 ± 15	2000
Кріп	310 ± 8	3250 ± 14	2000
Щавель	663 ± 10	3000 ± 14	2000
Селера	226 ± 6	2860 ± 12	2000
Петрушка	501 ± 7	2301 ± 13	2000
Редька чорна зимова	350 ± 6	1632 ± 10	—
Хрін	120 ± 5	1500 ± 10	—
із середнім вмістом			
Морква (пізня)	18 ± 2	606 ± 8	250
Картопля	10 ± 1	362 ± 6	250
Огірки (відкритий ґрунт)	20 ± 2	359 ± 6	150
Баклажан	55 ± 3	303 ± 6	—
з малим вмістом			
Перець солодкий	26 ± 2	220 ± 5	200
Цибуля	10 ± 1	200 ± 5	80
Томат	9 ± 1	136 ± 5	150
Зелений горошок	7 ± 1	112 ± 5	—
Кавун	38 ± 2	96 ± 4	60

Результати встановлення терміну зберігання соків зі столового буряку та моркви на динаміку нітратів представлені у табл. 2.

Таблиця 2. Вплив терміну зберігання соку з буряку та моркви на вміст нітратів

Досліджуваний зразок	Свіжовичавлений сік (вичавки — п. п. 3, 4)	Час зберігання соку, хв			
		30	60	90	120
Червоний буряк E , мВ $m_{\text{NO}_3^-}$, мг/кг	136±6 6309±16	136 6309	136 6309	135 6309	137 6165
Морква E , мВ $m_{\text{NO}_3^-}$, мг/кг	236±7 186±6	237 178	238 170	238 170	238 170
$m_{\text{NO}_3^-}$, мг/кг у вичавках з червоного буряку	5011±15				
$m_{\text{NO}_3^-}$, мг/кг у вичавках з моркви	135±6				

Встановлено, що вміст NO_3^- -іонів в аналізованих соках протягом двох годин їх зберігання у відкритому посуді залишався практично без змін. Зменшення нітратів на 2,3...5% може бути помилкою визначення, а 2-годинне зберігання соків вочевидь не призводить до відновлення нітратів до нітритів. Такими, що мають практичне значення, виявилися результати дослідження впливу видалення поверхневого шару у деяких зразків рослинної продукції на вміст нітратів (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив видалення шкірки у рослинній продукції на вміст нітратів

Досліджуваний зразок	$m_{\text{NO}_3^-}$, мг/кг		
	зі шкіркою	без шкірки	ГДК
Червоний буряк	4527±15	3208±14	1400
Морква	410±6	259±5	250
Картопля	284±4	243±4	250
Огірок (закритий ґрунт)	554±7	290±5	150
Томати (закритий ґрунт)	52±3	41±3	60
Банан	550±6	135±3	—
Апельсин	60±2	36±2	—

Встановлено, що видалення шкірки у червоного буряку, моркви, картоплі та огірків є ефективним заходом щодо зменшення нітратів у дослідних зразках (на 15...50%). Найбільш суттєво цей захід впливає на вміст нітратів у тепличних огірках та столовому буряку, призводить до його зменшення на 50...40%. Видалення шкірки з томатів не супроводжується суттєвим зменшенням нітратів. Встановлено також, що вміст нітратів у шкірці бананів у 2...3 рази більший, ніж у їстівній частині плодів.

Окремі результати щорічного моніторингу нітратів у плодоовочевій продукції також наведені в таблицях 4—7.

Таблиця 4. Вміст нітратів в окремих овочевих продуктах (2015 р.)

Зразок	E , мВ	$p C_{NO_3^-}$	$m_{NO_3^-}$, мг/кг	ГДК мг/кг
Морква пізня (Черкаська обл.)	292	3,6	325,08	250
Болгарський перець (Черкаська обл.)	343	4,1	151,7	200
Морква пізня (Київська обл.)	272	2,7	1935,9	250
Червоний буряк (Київська обл.)	234	3,7	261,59	1400
Кабачок неочищений (Київська обл.) (гіпермаркет)	261	2,5	2892,5	400
Баклажан (Київська обл.)	280	3,5	406	300
Огірок (Черкаська обл.)	345	4,1	151,7	150
Виноград кишмиш (гіпермаркет)	328	3,6	414	60
Картопля неочищена (Львівська обл.)	327	3,6	325,08	300
Картопля очищена (Київська обл.)	335	3,7	261,59	300
Картопля неочищена (Чернігівська обл.)	324	3,4	486,2	300
Томат (гіпермаркет)	340	3,8	220,4	150
Томат (Київська обл.)	335	3,7	270,1	150
Томат (Черкаська обл.)	335	3,7	270,1	150

Внаслідок проведених досліджень встановлено, що перевищення гранично допустимої концентрації виявлено у зразках винограду кишмиш, моркви пізній (Київська обл.), кабачку неочищеному (Київська обл.) (гіпермаркет), окремих зразках томатів і картоплі; у яблуці нітратів не виявлено. Вміст нітратів у зразках винограду перевищує ГДК у 4 рази, кабачка та моркви — в 7 разів тощо. Вживання людиною великої кількості таких продуктів може призвести до тяжкого отруєння.

Таблиця 5. Результати визначення концентрацій нітратів у рослинній сировині (2017 р.)

№	Назва рослинної сировини	Вміст (NO_3^-) мг/кг	ГДК, мг/кг
1	Цибуля ріпчаста	140	80
2	Картопля зі шкіркою	202	250
3	Картопля без шкірки	99	250
4	Патисон	161	400
5	Цвітна капуста	320	500
6	Виноград	300	60
7	Огірок зі шкіркою	508	400
8	Огірок без шкірки	63,9	400
9	Петрушка	734	2000
10	Базилік	1013	2000
11	Кінза	453	2000
12	Кріп	259	2000

За побудованим градувальним графіком було визначено $p C_{NO_3^-}$ для дослідних зразків: для гладких огірків — 3,2, для короткоплідних — 3,5.

За спеціальними таблицями для перерахунку $p C_{NO_3^-}$ на вміст нітратів у мг/кг визначено, що вміст нітратів для гладких огірків становить 231 мг/кг, а для короткоплідних — 116 мг/кг. ГДК нітратів для огірків, що вирощуються у закритому ґрунті, становить 400 мг/кг.

Таблиця 6. Результати визначення NO_3^- у зразках окремих овочів і фруктів (2020 р.), ($P=0,95$; $n=3$)

№ з/п	Аналізований зразок	Вміст нітратів, мг/кг	S_r	ГДК, мг/кг СанПіН 42-123-4619-88
1.	Перець болгарський	116±2	0,03	200
2.	Картопля	250±2	0,04	250
3.	Огірки	102±3	0,02	150
4.	Буряк столовий	1412±12	0,06	364,5
5.	Кабачок	353±5	0,03	390,3
1.	Кавун (м. Одеса)	78±2	0,02	60
2.	Кавун (Київська обл.)	82±2	0,01	60
3.	Кавун (Херсонська обл.)	85±3	0,03	60
4.	Кавун(Миколаївська обл.)	83±2	0,04	60
5.	Кавун (Полтавська обл.)	85±1	0,03	60
6.	Яблука Голден	48±3	0,02	60
7.	Яблука Арлет	54±2	0,01	60
8.	Яблука Амброзія	63±2	0,03	60
9.	Полуниця	96±4	0,04	100

З табл. 6 видно, що міст нітратів у досліджуваних зразках перцю, картоплі, огірків, кабачків знаходиться в межах ГДК, вони придатні для використання. Винятком є буряк столовий. Вміст нітратів у цих зразках перевищує норму майже в 4 рази. Тобто перед вживанням буряку столового його потрібно ретельно помити і почистити.

Вміст нітратів у дослідних зразках кавунів перевищує норму ГДК на 18 — 25 мг/кг, тому вживати у їжу даний кавун не бажано. Вміст нітратів у яблуках та полуниці не перевищує ГДК, що дає змогу рекомендувати їх до вживання.

Для зменшення вмісту нітратів можна запропонувати також вимочування у воді, завдяки чому вміст нітратів зменшується у 3...15 разів.

У табл. 7 наведені окремі результати щодо моніторингу нітратів у найбільш широко використовуваній продукції протягом 2015—2020 років.

Таблиця 7. Окремі результати визначення нітратів у рослинній продукції у 2015—2020 рр.

Назва рослинної сировини	Вміст (NO_3^-) у 2015 р., мг/кг	Вміст (NO_3^-) у 2017 р., мг/кг	Вміст (NO_3^-) у 2019 р., мг/кг	Вміст (NO_3^-) у 2020 р., мг/кг	ГДК, мг/кг СанПіН 42-123-4619-88
1	2	3	4	5	6
Картопля	486±3	202±3	362±6	250±2	250
Огірки	152±2	508±3	554±7	102±3	150
Буряк столовий	2616±13	2212±10	4527±15	1412±12	364,5
Перець болгарський	152±1	168±3	220±5	116±2	200
Кабачок	360±4	358±5	300±3	353±5	390,3
Кавун (Київська обл.)	83±2	82±2	96±4	85±2	60
Цибуля ріпчаста	176±4	140±3	200±5	180±6	80

З табл. 7 видно, що вміст нітратів щороку залежить від багатьох факторів: погодних умов у період вирощування, типу ґрунту, використання різних добрив і пестицидів тощо. Тому хронологічна залежність тут відсутня.

Висновки

1. Встановлено, що видалення шкірки з овочів та вимочування їх у воді протягом 30—40 хв перед використанням є ефективним заходом зменшення нітратів на 30...40% у червоному буряку, моркві, огірках, перці, баклажані, кабачку.

2. Найбільш чутливими до характеру токсичної дії нітратів є діти перших днів і місяців життя, а також особи похилого віку, хворі на анемію, з захворюванням дихальної системи, хворобами серцево-судинної системи, що необхідно враховувати під час приготування страв.

3. Рослинну продукцію за вмістом нітратів можна поділити на три групи: з малим — до 100 мг/кг, середнім — до 1000 мг/кг та великим вмістом — від 1000 мг/кг.

4. Кількість нітратів при зберіганні соків з буряку та моркви протягом 2 год практично не змінюється.

5. Моніторинг нітратів у фруктах показав, що виноград може містити високий вміст нітратів, що в декілька разів перевищує ГДК. Вживання таких фруктів є небезпечним для життя людини.

6. Встановлено, що аналізовані зразки яблук не містять нітратів. Отже, вживання цих фруктів є безпечним для здоров'я.

7. З отриманих даних видно, що найбільший вміст нітратів у картоплі, вирощений в Чернігівській області. Він більш ніж в 1,5 раза перевищує ГДК. Картопля, вирощена у Львівській області, також містить надлишкову кількість нітратів.

8. Моніторинг вмісту нітратів у картоплі показав, що лише в картоплі, вирощений в Київській області, він відповідає нормам. Людям, які займаються виробництвом сільськогосподарської продукції, необхідно підвищувати рівень фахових знань, культуру агротехніки, використовувати найсучасніші технології. Щоб населення було упевненим в якості овочів та фруктів, необхідно розробити експрес-методи визначення нітратів у домашніх умовах.

9. Моніторинг вмісту нітратів у томатах показав, що вміст нітратів у них перевищує ГДК.

10. Продукти з вмістом нітратів, що перевищують допустимі концентрації (не більше як у 2 рази), можна використовувати після технологічної переробки (соління, квашення, маринування). Для зменшення вмісту нітратів було запропоновано бланшування рослинної сировини. Бланшування зменшує вміст нітратів у 3—15 разів.

11. Не можна готувати овочі в алюмінієвому посуді.

12. Встановлено, що вживання аскорбінової кислоти підвищує інтенсивність розкладання нітратів.

13. Вміст нітратів у деяких дослідних зразках (короткоплідних і гладких огірках) становить 116 мг/кг та 231 мг/кг відповідно і не перевищує ГДК для цього виду рослинної продукції (400 мг/кг).

14. У ході аналізу було визначено, що в бананах нітратів міститься 310 мг/кг. Згідно з ДСТУ безпечна норма нітратів у бананах — 200 мг на 1 кг ваги тіла.

15. Встановлено, що в помідорі міститься 98 мг/кг нітрат-іонів. Значення гранично допустимої концентрації нітратів для томатів, вирощених у відкритому ґрунті, становить 150 мг/кг за даними СанПіН 42-123-4619-88. Це свідчить про те, що вміст нітрат-іонів знаходиться в межах норми.

Література

1. Домарецький В. А. Екологія харчової сировини і продуктів харчування: Нав. посібн. для студ. техн. вузів. К.: НУХТ, 1994. 343 с.
2. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1979. 480 с.
3. Циганенко О. І. Нітрати в харчових продуктах. К.: Здоров'я, 1990. 54 с.
4. Перепелиця О. Г. Екохімія та ендоекологія елементів. Довідник з екологічного захисту. К.: НУХТ, Екохім, 2004. 736 с.
5. Скурихин И. М., Нечаев А. П. Все о пище с точки зрения химика. М.: Высш. школа, 1991. 258 с.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць.

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має містити коротку інформацію про мету, об'єкт та методику досліджень, основні результати й рекомендації щодо їх застосування.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми у 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 або порядку цитування в тексті наводиться список літературних джерел (не менше п'яти джерел, не більше дванадцяти). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ 8302:2015. У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмі-редакторі Corel Draw X6.

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. Знімок екрана (скріншот) виконується на світлому фоні.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються у разі крайньої потреби. Авторам краще завантажити фотографії на хмарний сервіс і у списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net