2022

НАУКОВІ ПРАЦІ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 28 № 3

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2022

UDC 663/664

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 # 11 from 30th of June, 2022

© NUFT, 2022

УДК 663/664

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 № 11 від 30 червня 2022 року

© НУХТ, 2022

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Олександр Шевченко **Oleksandr Shevchenko**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Анастасія Шевченко **Anastasiia Shevchenko**	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гєдре Райшене **Agota Giedre Raisiene**	д-р екон. наук, Литва Ph. D. Hab., Lithuanian Institute of Agrarian Economics, Lithuania
Атанаска Тенєва **Atanaska Teneva**	д-р екон. наук, доц., Болгарія Ph. D. Hab., As. Prof., University of Food Technolodgies, Bulgaria
Анатолій Заїнчковський **Anatoly Zainchkovskiy**	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Анатолій Ладанюк **Anatoly Ladanyuk**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Андрій Маринін **Andrii Marynin**	канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Браян Мак Кенна **Brian McKenna**	д-р техн. наук, проф., Ірландія Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland
Валерій Мирончук **Valerii Myronchuk**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Василь Кишенько **Vasyl Kyshenko**	канд. техн. наук, проф., Україна Ph. D., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Василь Пасічний **Vasyl Pasichnyi**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
В'ячеслав Іващук **Vyacheslav Ivaschuk**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Віктор Стабніков **Viktor Stabnikov**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Володимир Зав'ялов **Volodymyr Zavialov**	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Галина Колісник **Halyna Kolisnyk**	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., Uzhhorod National University, Ukraine

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

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Луцька Н. М., Байдаєв Р. В., Герасименко Т. М., Власенко Л. О. Системи керування технологічними об'єктами харчової промисловості з прогнозувальними моделями 7

Економіка, менеджмент і маркетинг

Роганова Г. О., Приймачок А. О. Аналіз фінансового стану підприємства на прикладі АТ «Укрпошта» 20

Арич М. І., Дем'яненко І. В. Сучасний стан, ризики та перспективи торгівлі цінними паперами в Україні 32

Механічна та електрична інженерія

Гапонич Л. С., Топал О. І., Голенко І. Л., Кобзар С. Г. Оцінка потенціалу виробництва RDF на основі визначених технологічних і морфологічних властивостей твердих побутових відходів України 44

Філоненко В. М. Техніко-економічні аспекти номінальної теплової та електричної потужності турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском 60

Балюта С. М., Шестеренко В. Є., Ізволенський І. Є. Аналіз систем розосередженої генерації 79

Онищенко Я. Д., Замулко А. І. Аналіз тенденцій споживання енергетичних ресурсів харчовою промисловістю України 88

Харчові технології

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Камінська С. В., Горлата Н. О. Біологічно активні природні сполуки у життєзабезпеченні організму людини 97

Ощипок І. М. Сучасні інноваційні підходи до розробки аналогів м'яса з нетрадиційних джерел білка 107

Василишина О. В. Вплив попередньої обробки розчином карагенану на технологічну якість плодів вишні 116

Петрова Ж. О., Слободянюк К. С., Граков О. П. Теоретичний аналіз сучасного стану переробки ягід лохини відомими методами сушіння 123

Дороховіч В. В., Грицевіч М. Ю. Використання кукурудзяного та тапіокового крохмалю у виробництві низькобілкового печива для хворих на фенілкетонурію 144

CONTENTS

Automation and Information Technologies

Lutska N., Baidaiev R., Herasymenko T., Vlasenko L. Management systems of technological facilities of food industry with predictive models 7

Economy, Management and Marketing

Rohanova H., Pryimachok A. Analysis of the financial state of the enterprise on the example of JSC "Ukrposhta" 20

Arych M., Demianenko I. Current state, risks and prospects of securities trading in Ukraine 32

Mechanical and Electrical Engineering

Haponych L., Topal O., Golenko I., Kobzar S. Estimation of potential of rdf production based on found technological and morfological properties of munisipal solid wastes of Ukraine 44

Filonenko V. Technical and economic aspects of nominal thermal and electric power of electric turbine units based on backpressure steam turbine 60

Baluta S., Shesterenko V., Izvolensky I. Analysis of dispersed generation systems 79

Onyshchenko Y., Zamulko A. Analysis of energy consumption trends by food industry of Ukraine 88

Food Technologies

Simakhina G., Naumenko N., Kaminska S., Gorlata N. Biollogically active natural compounds in the life support of the human organism 97

Oshchypok I. Modern innovative approaches to the development of meat analogues from non-traditional protein sources 107

Vasylyshyna O. Effect of pre-treatment of cherry fruits with caragenane solution on their technological quality 116

Petrova Zh., Slobodianiuk K., Grakov O. Theoretical analysis of the current state of processing blueberry berries by known drying methods 123

Dorokhovych V., Hrytsevich M. The use of corn and tapioca starch in the production of low-protein cookies for patients with phenylketonuria 144

Чорна Т. М., Гусятинська Н. А. Аналіз нормативних документів ЄС щодо якості та безпечності цукрів у контексті розширення експортного потенціалу галузі 154

Chorna T., Husiatynska N. Analysis of EU regulatory documents regarding the quality and safety of sugars in the context of expanding the export potential of the industry

УДК 681.518.5

MANAGEMENT SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL FACILITIES OF FOOD INDUSTRY WITH PREDICTIVE MODELS

N. Lutska, R. Baidaiev, T. Herasymenko
National University of Food Technologies
L. Vlasenko
State University of Trade and Economics

Key words:
Regulator
MPC
Mathematical model
Criterion
Robust system
Technological object
Control

Article history:
Received 20.05.2022
Received in revised form 02.06.2022
Accepted 16.06.2022

Corresponding author:
N. Lutska
E-mail:
lutskanm2017@gmail.com

ABSTRACT

Development and implementation of intelligent automated control systems increases the leading efficiency indicators of industry manufactures, provides an increase in the number of products, reducing production costs, and rising work productivity. Systems with complex control algorithms, in particular systems with predictive controllers are used to minimize the impact of parametric and structural disturbances on the technological object of food industry and to provide the highest quality characteristics of transients.

The object of the work is to develop an intelligent control system for technological objects of food industry using an adaptive MPC controller and to define recommendations on its applying to solve typical problems in the automation of technological processes and complexes field in comparison with classical PID-regulators, which are adjusted according to the integral-quadratic and robust criteria.

The article analyzes the current researches on the theory of predictive regulators and options for their implementation, describes the principle of operation of such regulators, and compares different methods of predictive control. There were synthesized systems with PID-controller, and its tunings were found by minimizing the integral-quadratic and robust criterion, as well as systems with an adaptive MPC device for a typical technological object of food industry. The identifier of the system with adaptive MPC uses a polynomial discrete autoregressive model of the moving average ARX.

Based on the results of the research recommendations for use of control systems with different types of regulators for technological objects were formulated, which contain the characteristics of the object, its mathematical model, and system requirements.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-3

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З ПРОГНОЗУВАЛЬНИМИ МОДЕЛЯМИ

Н. М. Луцька, Р. В. Байдаєв, Т. М. Герасименко
Національний університет харчових технологій
Л. О. Власенко
Державний торговельно-економічний університет

Розробка і впровадження інтелектуальних автоматизованих систем керування (ІАСК) підвищує основні показники ефективності виробництв, забезпечує збільшення кількості продукції, зниження витрат на виробництво та зростання продуктивності праці. Для мінімізації впливу параметричних і структурних збурень на технологічний об'єкт харчової промисловості та забезпечення максимально якісних характеристик перехідних процесів застосовують системи з ускладненими алгоритмами регулювання, зокрема системи з прогнозувальними регуляторами.

У статті розроблено інтелектуальну систему керування технологічними об'єктами харчової промисловості з використанням адаптивного MPC регулятора та визначено рекомендації щодо його використання для розв'язання типових задач у галузі автоматизації технологічних процесів і комплексів у порівнянні з класичними ПІД-регуляторами, налаштування яких здійснюється за інтегрально-квадратичним та робастним критерієм.

Виконано аналіз сучасних досліджень теорії прогнозувальних регуляторів і варіантів їх впровадження, описано принцип роботи таких регуляторів, наведено порівняння різних методів прогнозувального керування. Синтезовано системи з ПІД-регулятором, налаштування яких знайдено при мінімізації інтегрально-квадратичного та робастного критерію, а також системи з адаптивним MPC-пристроєм для типового технологічного об'єкта харчової промисловості. Ідентифікатор останньої системи використовує поліноміальну дискретну авторегресійну модель ковзного середнього ARX. Виконано порівняльний аналіз перехідних процесів для комбінованого типу вхідного сигналу, максимально наближеного до реальних умов при номінальних і випадкових невизначеностях.

За результатами дослідження сформульовані рекомендації щодо застосування систем з різними типами регуляторів для технологічних об'єктів, що містять характеристики об'єкта, його математичної моделі та вимог до системи.

Ключові слова: *регулятор, MPC, математична модель, критерій, робастна система, технологічний об'єкт, керування.*

Постановка проблеми. Системи з використанням Model Predictive Control (MPC) почали розвивати на початку шістдесятих років XX століття. Їх застосовували до виробництв нафтохімії та енергії, оскільки це задачі управління в умовах високої складності математичних моделей об'єктів. На сьогодні практичний спектр застосування методів MPC та і їх універсальність значно розширюються, що дає змогу управляти багатовимірними і багатозв'язними об'єктами зі склад-

ною структурою, яка включає нелінійність, оптимізувати процеси в режимі реального часу в рамках обмежень на керуючі і керовані змінні, враховувати невизначеності в завданні об'єктів і збурень (Camacho & Bordons, 2007; Schwenzer, Ay, Bergs & Abel, 2021). Крім того, з'являються нові методи та варіанти реалізації прогнозувального управління, які можна застосувати для технологічних об'єктів харчової промисловості.

Для синтезу ІАСК будь-якого виробництва важливе значення відіграє коректна ідентифікація об'єкта управління. Для прогнозувальних регуляторів адекватність математичної моделі оригіналу має вирішальне значення. Також вкрай важлива ідентифікація неконтрольованих збурень, які діють на об'єкт. Часто ці збурення мають сильну випадкову складову. При правильній ідентифікації можна синтезувати МРС регулятор, який забезпечить проходження технологічного процесу з мінімальними якісними критеріями.

Основний принцип МРС полягає у визначенні в певний момент часу k послідовності керувальних дій:

$$\hat{u}(k+i \mid k),\ (i=0,1,...H_p-1), \tag{1}$$

яка буде прикладена до об'єкта, щоб забезпечити максимальний збіг траєкторії прогнозованих значень виходу $\hat{y}(k+H_p \mid k)$ з рекомендованою траєкторією руху $r(k+i|k)$ на горизонті H_p. Вирішується це завдання за допомогою мінімізації вибраної вартісної функції. Тоді, згідно з концепцією віддаляючого горизонту, в момент часу k тільки перше значення входу $\Delta u(k)$ вектора майбутніх приростів сигналу оптимального керування реально застосовується до об'єкта. Решта оптимальних входів відкидається, і нове завдання оптимального керування вирішується в момент часу k+1.

Враховуючи складність технологічних процесів харчової промисловості та в умови невизначеності їх функціонування актуальним буде застосування адаптивних МРС-алгоритмів. Тоді МРС-пристрій прогнозує майбутню поведінку, використовуючи лінійну нестаціонарну модель технологічного процесу. На практиці такі прогнози ніколи не є точними, і ключовою метою налаштування при цьому є розробка МРС, нечутливих до помилок прогнозування. Якщо об'єкт суттєво нелінійний, розподілений або його характеристики різко відрізняються з часом, точність прогнозування математичної моделі може погіршитися настільки, що якість МРС стає неприйнятною. Адаптивний МРС може вирішити цю проблему, адаптувавши модель прогнозування до змінюваних умов експлуатації. Тож адаптивний МРС використовує фіксовану структуру математичної моделі, але дає змогу параметрам моделі еволюціонувати з часом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системи прогнозувального керування МРС використовують математичну модель об'єкта будь-якої складності. Основними перевагами МРС-регуляторів є відносна простота базової схеми формування зворотного зв'язку та високі адаптивні властивості. Такі регулятори застосовуються для багатовимірних і багатозв'язних об'єктів зі складною структурою, в тому числі і для нелінійних процесів, базуються на оптимізації в режимі реального часу з обмеженнями на регулювальні й керувальні змінні з урахуванням невизначеностей моделі об'єкта та збурень.

Принцип роботи таких регуляторів (Schwenzer, Ay, Bergs & Abel, 2021; Bemporad, Ricker & Morari, 2018; Seborg, Edgar, Mellichamp & Doyle, 2016; Kojima & Tomikawa, 2009):

- для заданої моделі об'єкта та початкових умов в момент k виконується прогнозування поведінки системи під дією керуючого сигналу на певному відрізку часу — горизонт прогнозу H_p (Prediction Horizon);

- за оптимізаційною схемою знаходиться оптимальний керувальний сигнал за комплексним функціоналом, що може враховувати як мінімум енергетичних витрат, так і максимальне відслідковування траєкторій прогнозувальних і рекомендуючих значень виходу, з урахуванням всіх існуючих обмежень та горизонту керування H_c (Control Horizon);

- згідно з концепцією віддаляючого горизонту застосовується лише керування на першому кроці (k-k+1), інші значення відкидаються і нова задача оптимального керування розв'язується з новими вхідними значеннями на кроці k+1.

Залежно від виду прогнозувальної моделі та оптимізаційної схеми розрізняють варіанти реалізації прогнозувального керування, найбільш розповсюджені з них, їх переваги та недоліки наведені в табл. 1.

Таблиця 1. **Порівняння прогнозувальних методів керування**

Назва методу/ літературне джерело	Особливості методики	Переваги та недоліки	Область застосування
1	2	3	4
Динамічне матричне керування — DMC (Dynamic matrix control) (Camacho & Bordons, 2007; Montenegro, Ayala & Ibarra, 2022; Wang, Cai & Zan, 2022; Patan, 2021)	Використовує динамічну матрицю для прогнозу та метод квадратичного програмування при оптимізації.	Переваги: простота розрахункової схеми. Недоліки: використовується лише для лінійних стаціонарних процесів; великий горизонт прогнозу.	Нафтохімічна індустрія з багатофакторними процесами.
Модельне алгоритмічне керування — MAC (Model algorithmic control) (Camacho & Bordons, 2007; Patan, 2021; Kurnyta-Mazurek, Szolc, Henzel & Falkowski, 2021; Holkar & Waghmare, 2010)	Використовує імпульсну модель відгуку для прогнозу.	Переваги: простота розрахункової схеми; підсилена робастність щодо помилок ідентифікації. Недоліки: використовується лише для стабільних процесів.	Енергетика, скловипікання, парогенератори тощо.
Прогнозувальне функціональне керування — PFC (Predictive functional control) (Camacho & Bordons, 2007; Holkar & Waghmare, 2010; Richalet & O'Donovan, 2009; Bouhenchir, Cabassud & Le Lann, 2006; Rossiter & Aftab, 2021)	Використовує автоматичну компенсацію при збігові в базових точках бажаного та прогнозного значення виходу. Сигнал керування побудований як лінійна комбінація базисних функцій.	Переваги: робастність до помилок розрахунків; простота настройки. Недоліки: не ефективний для складних нестаціонарних об'єктів; — вимагає оптимізацію в реальному часі.	Робототехніка, космічна техніка, реактори, нагрівачі, чорна та алюмінієва промисловість.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Розширене прогнозувальне самоадаптивне керування — EPSAC (Extended prediction self-adaptive control) (Holkar & Waghmare, 2010; Su, Hermanto, Braatz& Chiu, 2016; Dutta, De Keyser & Nopens, 2012; Su, Hermanto, Braatz & Chiu, 2012)	Використовує дискретну передатну функцію для прогнозу, оцінка параметрів якої виконується за рекурсивним методом найменших квадратів. Керування розраховується за один крок за значенням налаштованого фільтр-поліному.	Переваги: проста схема розрахунку керування.	Технологічні процеси в загальному.
Розширене інтервальне адаптивне керування — EHAC (Extended horizon adaptive control) (Holkar & Waghmare, 2010; Martín-Sánchez, Lemos & Rodellar, 2012)	Використовує одно-кроковий критерій прогнозу та багатопараметрий регулятор.	Переваги: не потрібні матричні розрахунки. Недоліки: чутливість до структури затримки.	Технологічні процеси в загальному.
Узагальнене прогнозувальне керування — GPC (Generalized predictive control) (Holkar & Waghmare, 2010; Wang & Li, 2022; Zhang, Zhou, Li, Hou & Fang, 2013)	Використовується багатокрокова функція якості та регресійна модель прогнозу.	Переваги: ефективне при не стаціонарних збуреннях та для не мінімально-фазових систем.	Цементні млини, башти для сушки, роботизовані руки.
Нейромережеве інверсне прогнозувальне керування — INNPC (Inverse Neural Network Predictive Control) (Stogiannos, Alexandridis & Sarimveis, 2018)	Регулятором є нейронна мережа, що здатна переводити об’єкт з поточного стану в заданий за заданий горизонт прогнозу.	Переваги: висока стійкість до відмов; висока швидкодія; стійкість до шумів вхідних даних; адаптація до змін. Недоліки: потребує навчання нейронної мережі.	Електромеханічні процеси.

Мета дослідження: розробка інтелектуальної автоматизованої системи керування технологічними об’єктами харчової промисловості з використанням адаптивного прогнозувального регулятора та визначення рекомендації щодо його використання для розв’язання типових задач у галузі автоматизації технологічних процесів та комплексів. МРС протягом багатьох років є ефективним інструментом управління для широкої ланки багатовимірних нелінійних динамічних систем. У статті розглядається задача синтезу адаптивного МРС-пристрою для

технологічного об'єкта — пластинчастого теплообмінника, нелінійна математична модель якого отримана на основі матеріальних і теплових балансів.

Матеріали і методи. Математична модель пластинчастого теплообмінника з протилежною течією теплоносія та продукту має вигляд:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial T(x,t)}{\partial t} + V\dfrac{\partial T(x,t)}{\partial x} = \dfrac{1}{\tau}(T_{st}(x,t) - T(x,t)), \\ \dfrac{dT_{st}(x,t)}{dt} = C_1(T(x,t) - T_{st}(x,t)) - C_2(T_{st}(x,t) - T_t(x,t)), \\ \dfrac{\partial T_t(x,t)}{\partial t} + V_t\dfrac{\partial T_t(x,t)}{\partial x} = \dfrac{1}{\tau_t}(T_{st}(x,t) - T_t(x,t)), \end{cases} \quad (2)$$

де T, T_t, T_{st} — відповідно, температури гріючої, нагріваючої рідин і температура стінки відповідно; V, V_t — лінійні швидкості відповідно гріючої та нагріваючої рідин, що залежать від витрат потоків; C_1, C_2, τ , τ_t — коефіцієнти, що в загальному випадку, окрім конструктивних параметрів теплообмінника, залежать від нестаціонарних коефіцієнтів тепловіддачі, теплоємності та густини рідин; t, x — відповідно, часова та просторова координати. До системи (2) обов'язково додаються початкові та крайові умови.

Коли регулятору необхідне прогнозування (на початку кожного інтервалу управління), він використовує лінійну стаціонарну модель, відповідну поточним умовам, спрощена параметрична схема якої наведена на рис. 1, де ΔG, ΔG_t — відповідно, відхилення витрат через теплообмінник гріючої та гарячої води; ΔT_{in}, $\Delta T_{t\,in}$ — відповідно, відхилення температур на вході в теплообмінник гріючої та гарячої води; ΔT — відхилення температури нагрітої рідини.

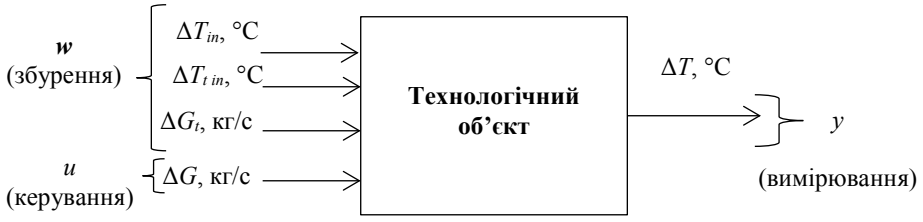


Рис. 1. Спрощена параметрична схема пластинчастого теплообмінника

На рис. 2 наведено структурну схему системи керування з адаптивним МРС-регулятором та ідентифікатором. Адаптивний МРС можна використовувати в двох варіантах: якщо існує нелінійна математична модель технологічного об'єкта, то ідентифікатор здійснює поточну лінеаризацію у робочій точці; якщо лінійну або нелінійну математичну модель отримати неможливо, то здійснюється поточна (оперативна) ідентифікація моделі в замкненому контурі. Другий варіант є більш узагальненим і практичним та потребує мінімальних затрат на додаткові апріорні дослідження.

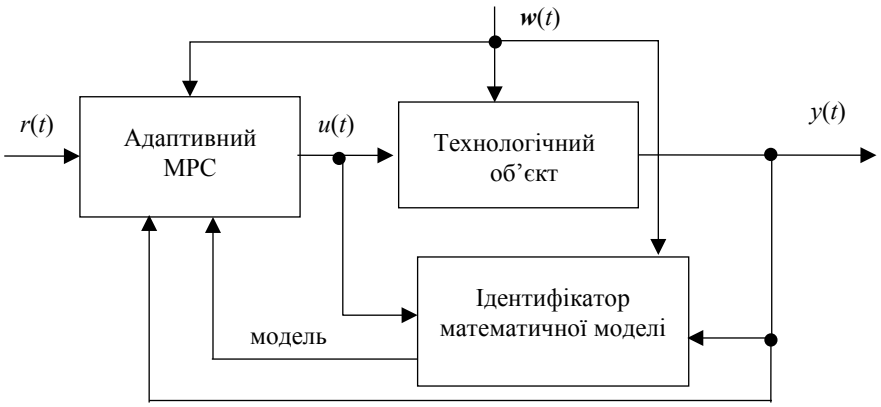


Рис. 2. Структура системи керування з адаптивним МРС-регулятором та ідентифікатором

Ідентифікатор математичної моделі (рис. 3) реалізує рекурсивну оцінку поліноміальної дискретної моделі ARX (авторегресійна модель ковзного середнього) з двома входами $G_1(t)$ та $G(t)$ (інші два збурення вважаються невимірюваними) та одним виходом $T(t)$. Ідентифікація здійснюється на кожному інтервалі керування, далі модель перетворюється в простір змінних стану і надходить до регулятора, де обробляється згідно зі стандартним МРС-алгоритмом. Порядок моделі не вище третього.

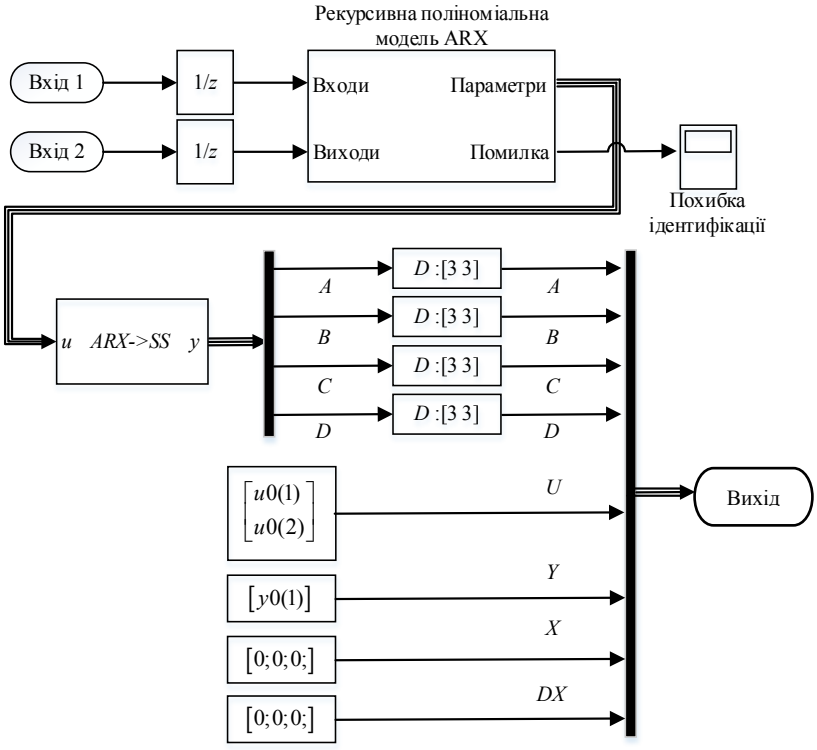


Рис. 3. Структурна схема ідентифікатора

Керуюча дія виробляється на кожному кроці керування відповідно до критерію згортки виду:

$$J(z_k) = J_y(z_k) + J_u(z_k) + J_{\Delta u}(z_k) + J_{\in}(z_k),$$

де $z_k^T = \left[u(k \mid k)^T u(k+1 \mid k)^T \ldots u(k+p-1 \mid k)^T \in_k \right]$ — розв'язок оптимізаційної задачі; k — поточний інтервал керування; p — інтервал прогнозування;

$J_y(z_k) = \sum_{j=1}^{n_y} \sum_{i=1}^{p} \left\{ \frac{w_{i,j}^y}{s_j^y} \left[r_j(k+i \mid k) - y_j(k+i \mid k \right] \right\}^2$ — складова, що визначає якість вихідних сигналів на горизонті прогнозу; n_y — кількість вихідних змінних; s^y — масштабні фактори вихідних змінних; w^y — вагові коефіцієнти вихідних змінних;

$J_u(z_k) = \sum_{j=1}^{n_u} \sum_{i=0}^{p-1} \left\{ \frac{w_{i,j}^y}{s_j^y} \left[u_j(k+i \mid k) - u_{j,target}(k+i \mid k \right] \right\}^2$ — складова, що визначає вид сигналів керування на горизонті прогнозу; u_{target} — задане значення для керованих змінних; n_u — кількість керованих змінних; s^u — масштабні фактори для керованих змінних; w^u — вагові коефіцієнти для керованих змінних;

$J_{\Delta u}(z_k) = \sum_{j=1}^{n_u} \sum_{i=0}^{p-1} \left\{ \frac{w_{i,j}^{\Delta u}}{s_j^u} \left[u_j(k+i \mid k) - u_j(k+i-1 \mid k \right] \right\}^2$ — складова, що визначає вид приросту сигналів керування на горизонті прогнозу; $w^{\Delta u}$ — вагові коефіцієнти для приростів керованих змінних;

$J_{\in}(z_k) = \rho_{\in} \in_k^2$ — складова, що визначає величину дозволу порушення обмежень (для м'яких обмежень); $\in_k$ — величина провисання (зазору) на інтервалі керування k; $\rho_{\in}$ — вага штрафу за порушення обмежень.

До оптимізаційної задачі обов'язково додаються обмеження на керування, приріст керування та вихідні змінні. Всі обмеження також можуть бути гнучкі та жорсткі. Останні, як правило, відносяться до технічних обмежень.

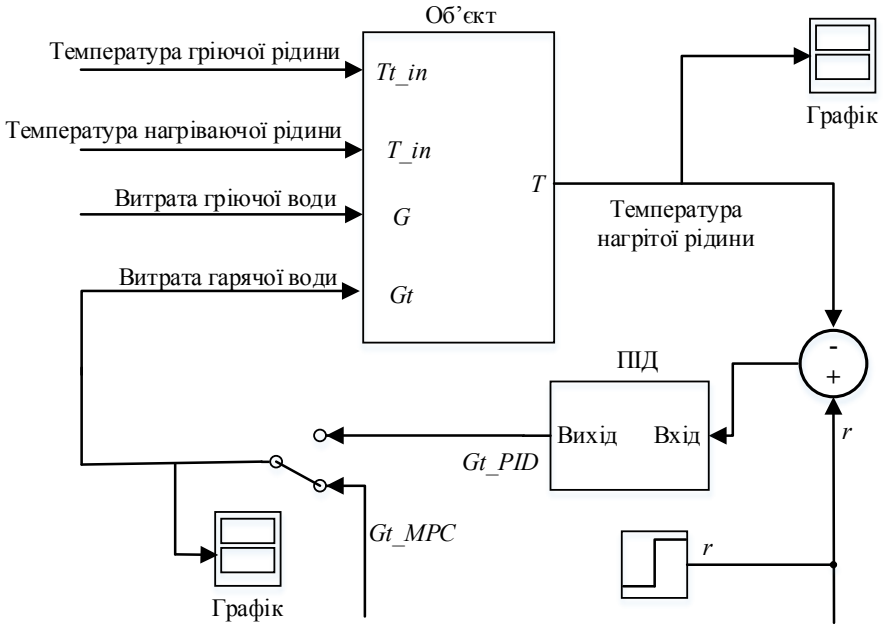
Параметрами налаштування такої системи керування є:

- для регулятора: час дискретизації *Ts*; час керування k; час прогнозування p, вагові коефіцієнти $w^{y,u,\Delta u}$ та $\rho_{\in}$;

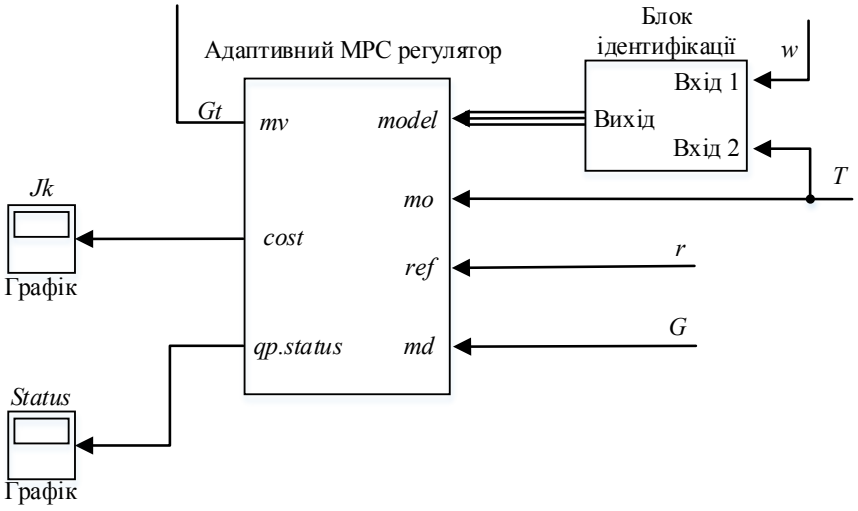
- для ідентифікатора: порядок моделі; початкові параметри моделі.

Викладення основних результатів дослідження. Структурна схема та налаштування системи керування з ПІД- та МРС-регуляторами наведені на рис. 4 та в табл. 2 (відповідно до інженерних одиниць), не вказані налаштування виставлені за замовчуванням. ПІД-регулятор налаштовувався за інтегрально-квадратичним критерієм, а також за критерієм мінімальної чутливості — робастний

ПІД-регулятор (Lutska, Zaiets, Vlasenko, Shtepa, 2018). Моделювання систем проводилося для комбінованого типу вхідного сигналу, максимально наближеного до реальних умов.



А)



Б)

Рис. 4. Фрагменти структурної схеми системи керування з дискретним ПІД-регулятором (А) з адаптивним MPC-регулятором (Б)

Таблиця 2. **Налаштування та критерії систем при номінальних значеннях невизначеностей**

Система керування	Налаштування регулятора	Критерії	
		Інт.-квадр.	*Hinf* (***w*** — *y*)
ПІД-регулятор	$kp = 2.2$ $ki = 0.13$ $kd = 5$ $Ts = 1$ с	830	1.48
Адаптивний МРС	$p = 15$ $k = 3$ $w^u = 1$ $w^y = 100$ $\rho_\epsilon = 1$ $Ts = 1$ с	711	—
Робастний ПІД-регулятор	$kp = 0.46$ $ki = 0.23$ $kd = 3$ $Ts = 1$ с	880.5	0.61

При номінальних значеннях (рис. 5) невизначеностей об'єкта найкраще себе поводить система з адаптивним МРС, однак її якість також досить знижена, тому що ідентифікована математична модель не включає всі збурення об'єкта. Крім того в такій системі досить інтенсивні сигнали керування (рис. 6), що не бажані на практиці. Останнього можна уникнути шляхом збільшення обмеження на приріст сигналу керування, що, у свою чергу, призведе до зменшення якості вихідного сигналу. В номінальному режимі система з робастним ПІД-регулятором поводиться гірше, ніж зі звичайним ПІД-регулятором, налаштування якого знайдені за інтегрально-квадратичним критерієм.

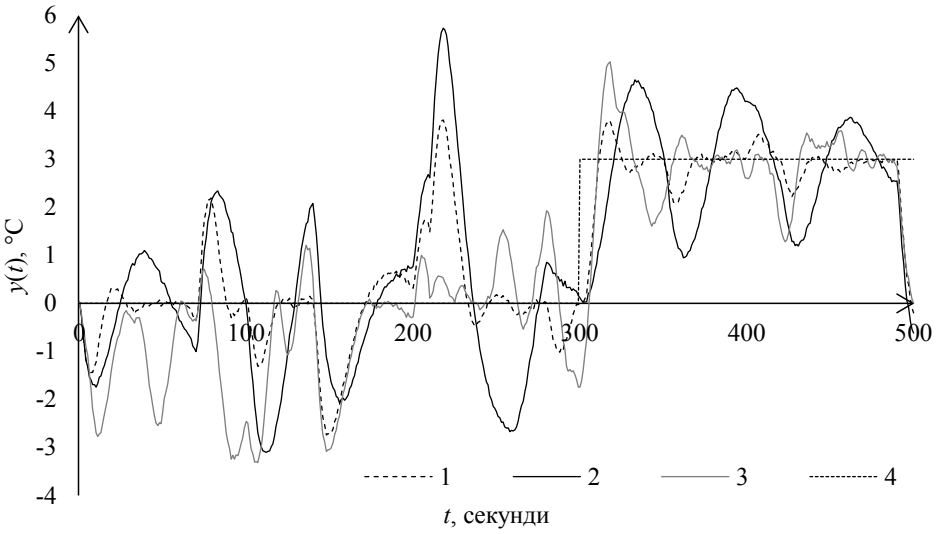


Рис. 5. Перехідні процеси в системах: 1 — з ПІД-регулятором; 2 — з робастним ПІД-регулятором; 3 — з МРС-регулятором; 4 — завдання

Як бачимо в номінальному режимі якість перехідних процесів найвища у системи з МРС-пристроєм. Однак для цієї ж системи найбільший ресурс на керування. Спостереження за розв'язкам оптимізаційної задачі на заданому інтервалі керування виявило, що значення кількості ітерацій не перевищує 15, що свідчить про високу швидкість виконання блоку оптимізації в заданому часовому інтервалі.

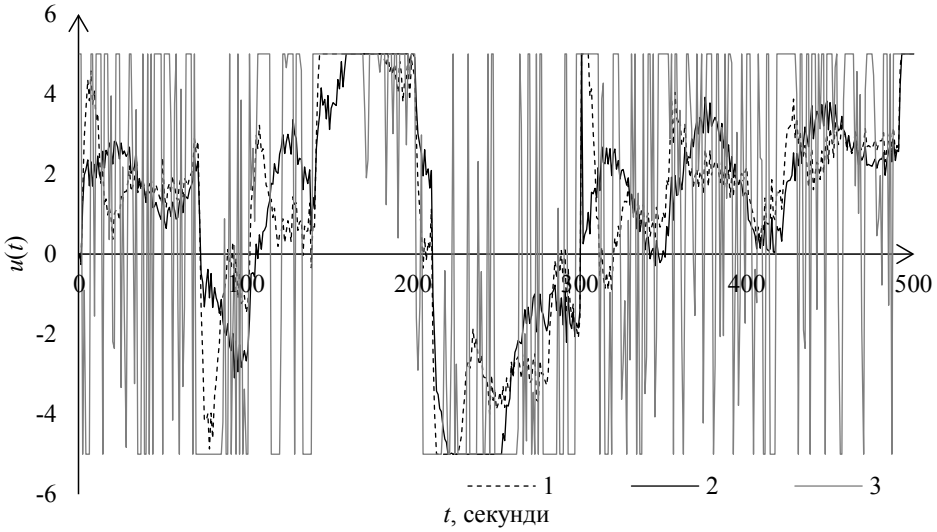


Рис. 6. Сигнали керування в системах з різними регуляторами

Зрозуміло, що при внесенні невизначеностей в об'єкт якість системи з ПІД-регулятором, налаштування якого синтезовані за інтегрально-квадратичним критерієм значно погіршуються, а деяких випадках система стає нестійкою. При цих же умовах якість системи з адаптивним ПІД-регулятором на рівні системи з номінальними невизначеностями. Система з МРС-пристроєм також має якісні перехідні процеси, однак на деяких ділянках перехідного процесу спостерігається значне підвищення критерію керування (рис. 7), що пояснюється низькою якістю результату ідентифікації математичної моделі об'єкта. Зокрема, поведінка невимірюваних збурень сприймається як еволюція об'єкта, на основі якої здійснюється пошук оптимального рішення. Крім того, на деяких проміжках спостерігається відсутність результату ідентифікації або оптимізації.

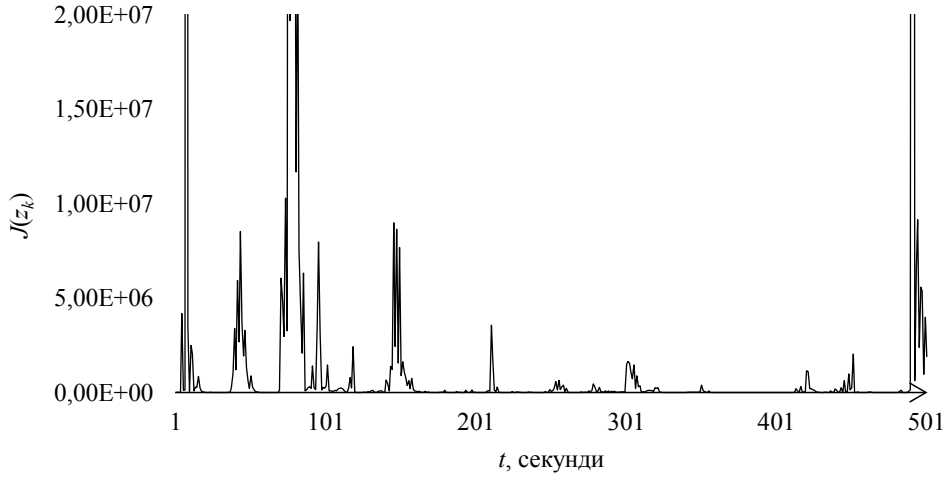


Рис. 7. Критерій оптимізації $J(z_k)$ в системі з МРС-пристроєм

Усе це вимагає використання в системах з МРС-пристроями додаткових процедур як стосовно врахування невимірюваних збурень, так і помилок при ідентифікації та оптимізації (Ладанюк, Власенко, Луцька & Смітюх, 2019). Перше можна подолати шляхом встановлення відповідних пристроїв вимірювання сигналів збурень, друге — застосуванням систем з переключенням при відслідковуванні результатів оптимізації.

Висновки

Системи керування з МРС-пристроями успішно розвиваються на практиці, при побудові та експлуатації систем керування технологічними процесами, що обумовлюється їх відносною простотою базової схеми формування зворотного зв'язку та поєднанням високих адаптивних властивостей. Однак використання такої системи керування потребує високої точності математичної моделі об'єкта, що враховує більшість суттєвих збурень. Крім того, збільшується кількість налаштувань системи керування. Робастний ПІД-регулятор вимагає мінімум налаштувань системи, працює у всьому діапазоні зміни невизначеностей в об'єкті та може бути налаштований на мінімальну чутливість. На основі проведеного дослідження можна сформувати такі рекомендації щодо застосування розглянутих систем:

- системи керування з прогнозувальними моделями можна застосувати, якщо вимірюються більшість збурень, висока ємність об'єкта, параметри математичної моделі є квазістаціонарними, вимоги щодо якості системи високі (швидкість та точність). Крім того, при розробці таких систем необхідно проводити об'ємну науково-дослідну розробку, що потребує додаткових часових і грошових затрат;
- робастні регулятори застосовуються при структурній і параметричній невизначеності об'єкта керування та зовнішніх збурень, невисокій швидкості й точності до системи, високій надійності системи. Крім того, математична модель об'єкта при цьому має невисокий порядок, тому потребує низьких затрат на її розробку.

Для розширення використання систем з прогнозувальними моделями для технологічних об'єктів харчової промисловості необхідна розробка додаткових процедур щодо надійності такої системи. Одним із шляхів подолання цього є застосування систем з переключенням.

Література

Ладанюк, А. П., Власенко, Л. О., Луцька, Н. М., Смітюх, Я. В. (2019). Проблема забезпечення стійкості інтелектуальних систем керування технологічними об'єктами. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 25(2), 7—15.

Bemporad A., Ricker N. L., Morari M. (2018). *Matlab. Model Predictive Control Toolbox: User's Guide. R2018b*. New York: Springer.

Bouhenchir, H., Cabassud, M., Le Lann, M. V. (2006). Predictive functional control for the temperature control of a chemical batch reactor. Computers & Chemical Engineering, 30(6—7), 1141—1154. http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2006.02.014.

Camacho E. F., Bordons C. (2007). *Model predictive control.* Springer. ISBN: 978-0-85729-398-5.

Chidrawar, S., Patre, B. (2008). Generalized predictive control and neural generalized predictive control. Leonardo journal of sciences, 7(13), 133—152.

Dutta, A., De Keyser, R., Nopens, I. (2012). Robust nonlinear extended prediction self-adaptive control (NEPSAC) of continuous bioreactors. 2012 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED) (pp. 658—664). IEEE. http://doi.org/10.1109/MED.2012.6265713.

Holkar, K. S., Waghmare, L. M. (2010). An overview of model predictive control. *International Journal of control and automation*, 3(4), 47—63.

Kurnyta-Mazurek, P., Szolc, T., Henzel, M., Falkowski, K. (2021). Control system with a non-parametric predictive algorithm for a high-speed rotating machine with magnetic bearings. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. http://doi.org/10.24425/bpasts.2021.13899.

Kojima, H., Tomikawa, M. (2009). Model Predictive Control for Deflection-Limiting Maneuver of Flexible Structure. *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, 51(174), 267-274. http://doi.org/10.2322/tjsass.51.267.

Lutska, N., Zaiets, N., Vlasenko, L., Shtepa, V. (2018). Effective robust optimal control system for a lamellar pasteurization-cooling unit under the conditions of intense external perturbations. *Ukrainian food journal*, 7(3), 511-521. http://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-3-15.

Martín-Sánchez, J. M., Lemos, J. M., Rodellar, J. (2012). Survey of industrial optimized adaptive control. International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 26(10), 881—918. http://doi.org/10.1002/acs.2313.

Montenegro, J., Ayala, P., Ibarra, A. (2022). Predictive Dynamic Matrix Control (DMC) for Ball and Plate System Used in a Stewart Robot. *International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial Engineering (CSEI)* (pp. 237—253). Springer, Cham. http://doi.org/10.1007/978-3-030-97719-1_14.

Patan, K. (2021). Model Predictive Control Methods. Diagnosis and Fault-tolerant Control Volume 2: From Fault Diagnosis to Fault-tolerant Control, 121.

Richalet, J., O'Donovan, D. (2009). Predictive functional control: principles and industrial applications. Springer Science & Business Media. ISBN: 978-1-84882-492-8.

Rossiter, J. A., Aftab, M. S. (2021). A Comparison of Tuning Methods for Predictive Functional Control. Processes, 9(7), 1140. http://doi.org/10.3390/pr9071140.

Schwenzer, M., Ay, M., Bergs, T., Abel D. (2021). Review on model predictive control: an engineering perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 117, 1327—1349. http://doi.org/10.1007/s00170-021-07682-3.

Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., Doyle III, F. J. (2016). *Process dynamics and control*. John Wiley & Sons.

Stogiannos, M., Alexandridis, A., Sarimveis, H. (2018). Model predictive control for systems with fast dynamics using inverse neural models. ISA transactions, 72, 161—177. http://doi.org/10.1016/j.isatra.2017.09.016.

Su, Q. L., Hermanto, M. W., Braatz, R. D., Chiu, M. S. (2012). A new extended prediction self-adaptive control (EPSAC) strategy for batch control. Взято з http://scholarbank.nus.edu.sg/handle/10635/74449.

Su, Q. L., Hermanto, M. W., Braatz, R. D., Chiu, M. S. (2016). Just-in-time-learning based extended prediction self-adaptive control for batch processes. Journal of Process Control, 43, 1—9. http://doi.org/10.1016/j.jprocont.2016.04.009.

Wang, H., Li, Z. S. (2022). Multi-Area Load Frequency Control in Power System Integrated With Wind Farms Using Fuzzy Generalized Predictive Control Method. IEEE Transactions on Reliability. http://doi.org/10.1109/TR.2022.3177045.

Wang, L., Cai, Y., Zan, X. (2022). Distributed Double-Layered Dynamic Matrix Control for Large-Scale System. Mathematical Problems in Engineering, 2022. doi:10.1155/2022/4650342.

Zhang, J., Zhou, Y., Li, Y., Hou, G., Fang, F. (2013). Generalized predictive control applied in waste heat recovery power plants. Applied energy, 102, 320—326. http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.038.

УДК 336.64

ANALYSIS OF THE FINANCIAL STATE OF THE ENTERPRISE ON THE EXAMPLE OF JSC "UKRPOSHTA"

H. Rohanova, A. Pryimachok
National University of Food Technologies

Key words:
Financial status
Liquidity
Profitability
Financial stability
Integral assessment
Bankruptcy

Article history:
Received 13.05.2022
Received in revised form 31.05.2022
Accepted 10.06.2022

Corresponding author:
H. Rohanova
E-mail:
hanna.rohanova@gmail.com

ABSTRACT

The identification of the financial condition of a business entity remains relevant at any time of its life cycle. That's why methods and techniques for analyzing the financial condition of an enterprise and their application to assess the financial condition of a particular enterprise are shown in the article. As part of the study, the following general scientific methods were used: dialectical, logical, induction and deduction, comparison, analysis and synthesis, and generalization. Among the general and special methods of financial analysis there were applied: horizontal, coefficient, graphical, determination of the probability of bankruptcy using discriminant and logit models, an integral indicator.

The article is aimed on study the financial condition of a postal service enterprise on the example of JSC "Ukrposhta" and determination of possible ways to improve it.

The analysis of the company's financial condition was carried out based on the consolidated financial statements for 2018—2020. Several relative and absolute indicators were worked out, according to the results of which it was established that the balance sheet liquidity was violated, and the balance sheet liquidity conditions were not fully met. At the same time, there was a positive growth trend in relative liquidity and profitability indicators. Absolute indicators of financial stability made it possible to characterize the financial condition as unstable. Noncompliance with the established regulatory limits for relative indicators of financial stability was observed. An integrated assessment of the financial condition confirmed the conclusion that the company's financial condition was unsatisfactory during the entire study period. A comprehensive assessment of the probability of bankruptcy is carried out (according to the models of E. Altman, G. Springate, J. Conan, and M. Halder, O. Tereschenko, Taffler R. and Tisshaw H., R. Lis, DD. Olson). It allowed to divide diagnostic models into those which give opposite results. This is due to the variety of factors included in such models.

Prospects for further research are to develop measures to improve the financial condition of the enterprise, which are aimed at increasing the profitability and competitiveness of the enterprise.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-4

АНАЛІЗ ФІНАНСОВОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВА НА ПРИКЛАДІ АТ «УКРПОШТА»

Г. О. Роганова, А. О. Приймачок
Національний університет харчових технологій

Ідентифікація фінансового стану суб'єкта підприємницької діяльності залишається актуальною у будь-який період його життєвого циклу. Саме тому в статті розглянуто методи і прийоми аналізу фінансового стану підприємства і застосовано їх до оцінки фінансового стану конкретного підприємства. Під час дослідження використано такі загальнонаукові методи: діалектичний, логічний, індукції і дедукції, порівняння, аналізу і синтезу, узагальнення. Серед загальних і спеціальних методів фінансового аналізу застосовано: горизонтальний, коефіцієнтний, графічний, визначення ймовірності банкрутства за допомогою дискримінантних і логіт-моделей, інтегрального показника.

Досліджено фінансовий стан підприємства поштового зв'язку на прикладі АТ «Укрпошта» та визначено можливі шляхи його покращення. Аналіз фінансового стану підприємства здійснено за даними консолідованої фінансової звітності за 2018—2020 роки. Опрацьовано ряд відносних та абсолютних показників, за результатами яких встановлено, що ліквідність балансу порушено, умови ліквідності балансу виконуються не повністю. В той же час спостерігалася позитивна динаміка зростання відносних показників ліквідності та рентабельності. Абсолютні показники фінансової стійкості дали змогу охарактеризувати фінансовий стан як нестійкий. Простежувалось недотримання встановлених нормативних меж для відносних показників фінансової стійкості. Інтегральна оцінка фінансового стану підтвердила висновок про незадовільний фінансовий стан підприємства протягом усього періоду дослідження. Здійснена всебічна оцінка ймовірності банкрутства (за моделями Е. Альтмана, Г. Спрінгейта, Ж. Конана і М. Гольдера, О. Терещенка, Р. Таффлера і Тісшоу, Р. Ліса, Дд. Олсона) дала змогу поділити моделі діагностики на такі, що дають протилежні результати. Це пояснюється різноманіттям факторів, включених до таких моделей.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці заходів щодо покращення фінансового стану підприємства, які мають на меті підвищення прибутковості та конкурентоспроможності підприємства.

Ключові слова: *фінансовий стан, ліквідність, рентабельність, фінансова стійкість, інтегральна оцінка, банкрутство.*

Постановка проблеми. Проблема аналізу фінансового стану підприємства та його оцінки залишається актуальною в будь-який період часу, оскільки, з одного боку, фінансовий стан є результатом діяльності підприємства (його досягнення), а з іншого — визначає передумови розвитку підприємства (Ковалевська & Асєєв, 2012). Особливо в умовах погіршення економічної ситуації в світі (спочатку у зв'язку із пандемією Covid-19, потім військовими діями на території України) спостерігається масштабніше, ніж під час світової фінансової кризи 2008—

2009 років, закриття підприємств різних масштабів та всіх видів бізнесу (Роганова & Котлярова, 2021). Саме достовірний, всебічний і якісний аналіз фінансового стану підприємства під час світових економічних криз є основою для прийняття ефективних фінансових, управлінських та інвестиційних рішень у майбутньому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання оцінки фінансового стану підприємства знаходять відображення у багатьох працях українських та зарубіжних економістів сьогодення. Дослідники розглядають методики розрахунків коефіцієнтів фінансового аналізу, розкривають підходи до формування фінансової стратегії підприємства, що дасть йому змогу в майбутньому уникнути банкрутства та забезпечити фінансовий розвиток на довгострокову перспективу (Стеблюк & Фізер, 2020). Але на практиці, на думку (Поддєрьогін & Чорна, 2018), аналіз фінансового стану підприємства ускладнюється використанням недосконалих методів до його оцінювання.

Загалом у процесі аналізу фінансового стану підприємства використовують різноманітні методи, прийоми та моделі, застосування яких визначається конкретним випадком і залежить від мети фінансового аналізу (Набатова & Чорненко, 2018). Оцінку фінансового стану підприємств здійснюють безпосередньо і за низкою методик, розроблених міністерствами (відомствами), Національним банком України та комерційними банками (Ковалевська & Асєєв, 2012). Основними напрямами фінансового аналізу діяльності підприємства є: горизонтальний фінансовий аналіз; вертикальний фінансовий аналіз; порівняльний фінансовий аналіз; аналіз фінансових коефіцієнтів; факторний фінансовий аналіз (Патарідзе-Вишинська, 2019).

Найбільш поширеним є коефіцієнтний метод оцінки фінансового стану підприємства, що передбачає розрахунок показників фінансової стійкості, платоспроможності і ліквідності, рентабельності (прибутковості) діяльності, майнового стану та ділової активності. У (Welc, 2022) основним підходом до оцінки та порівняння фінансової діяльності підприємств вважається саме коефіцієнтний аналіз, який передбачає набор показників, більшість яких обчислюються дуже просто — як частка лише двох чисел. Публікація (Alkaabi, Alkuwaiti & Nobanee, 2022) містить аналіз фінансових результатів корпорації Starbucks та обґрунтування доцільності застосування саме коефіцієнтного аналізу для прийняття на їх основі рішень керівництвом і потенційними інвесторами. Склад і алгоритм розрахунку коефіцієнтів досить різноманітний і залежить від обраної методики, що затверджена нормативними документами або упорядкована науковцями (Книшек & Тарасенко, 2018). У (Патарідзе-Вишинська, 2019) зазначається, що діагностувати фінансовий стан підприємств найбільш оптимально за методикою, що передбачає 2 етапи: 1. Експрес-аналіз, який передбачає загальну оцінку фінансового стану підприємства на основі низки показників, які з різних боків характеризують діяльність підприємства; етап 2. Поглиблений аналіз фінансового стану підприємства за такими напрямами оцінки: майнового потенціалу; ліквідності, платоспроможності та кредитоспроможності; фінансової стійкості; ділової активності; грошових потоків; фінансових результатів; ефективності діяльності; імовірності неплатоспроможності та банкрутства. Автори статті (Коваленко & Лихойванова, 2018) дійшли висновку, що експрес-аналіз є невід'ємною частиною

загального (повного) аналізу фінансового стану, який може бути використаний як метод попереднього етапу дослідження. У (Li, Cai, Wu, & Chen, 2021) дієвим аналітичним інструментом вважають гарвардську систему оцінки (Harvard Analytical Framework), яку було застосовано до фінансової звітності публічної компанії Nanjing Sonic за п'ять років та за якою автори спрогнозували перспективи розвитку компанії на майбутнє.

Комплексна оцінка характеризується значенням конкретного показника, який синтезує певні сторони діяльності об'єкта дослідження, отриманого на основі математичної обробки системи окремих показників. Для комплексної рейтингової оцінки фінансового стану на основі матричної моделі використовуються методи сум, бальної оцінки і методи відстаней (Смолій, 2019). Досить поширеним є інтегральний метод оцінювання фінансового стану підприємства, що ґрунтується на визначенні інтегрального показника, розрахунок якого відбувається на базі узагальнювальних показників рівня платоспроможності, фінансової незалежності, якості активів тощо (Ковалевська & Асєєв, 2012).

Вивчення зарубіжних підходів до оцінки фінансового стану підприємства (Поддєрьогін & Чорна, 2018) дає змогу зробити висновок, що вони зосереджені на дослідженні ймовірності банкрутства підприємства. У працях (Добровольська & Рондова, 2021; Ливдар & Чубка, 2022) автори пропонують розкриття сутності фінансового стану підприємства саме через прогнозування банкрутства. Сучасна наукова література пропонує велику кількість підходів і моделей до оцінювання ризику банкрутства компанії (Поддєрьогін & Чорна, 2018). У міжнародній практиці для оцінки фінансового стану підприємств широко використовують математичні моделі, серед яких заслуговують на увагу моделі банкрутства Альтмана, Спрінгейта, Таффлера, Ліса, Тішоу, Фулмера, Чессера тощо (Ковалевська & Асєєв, 2012; Сич & Калічак, 2017). Огляд моделей і методів діагностики банкрутства підприємств, здійснений у праці (Либа, Черевко & Ткачук, 2018), дав змогу авторам встановити, що більшість із них ґрунтується на кореляційно-регресійному та дискримінантному аналізі. У (Wei, 2021) запропоновано модель фінансового попередження, засновану на інтеграції дерева рішень, яка, за його ствердженням, є більш точною і забезпечує достовірний рівень ідентифікації підприємств, що знаходяться у фінансовій кризі. Кожна з методик має свої переваги та недоліки, тому під час здійснення аналізу виникає необхідність вибору такого підходу, який дасть змогу отримати найбільш однозначну та точну оцінку фінансового стану (Ливдар, Чубка & Фітяк, 2022).

Переважну більшість з розглянутих методів оцінки фінансового стану застосовано для визначення фінансового стану АТ «Укрпошта».

Метою статті є дослідження фінансового стану підприємства поштового зв'язку та визначення можливих шляхів його покращення.

Матеріали і методи. Дослідження виконано за даними фінансової звітності АТ «Укрпошта» за період 2018—2020 років.

Для досягнення поставленої мети визначено такі наукові завдання: здійснити коефіцієнтний аналіз фінасового стану за напрямками аналізу ліквідності, стійкості, рентабельності; дослідити темпи їх зміни; визначити тип фінансової стійкості; розрахувати інтегральний показник фінансового стану; оцінити ймовірність

банкрутства підприємства. Під час вирішення поставлених завдань було використано загальнонаукові методи пізнання: діалектичний, логічний, індукції і дедукції, порівняння, аналізу і синтезу, узагальнення. Серед загальних і спеціальних методів фінансового аналізу було застосовано: горизонтальний, коефіцієнтний, графічний, визначення ймовірності банкрутства за допомогою дискримінантних і логіт-моделей, інтегрального показника.

Викладення основних результатів дослідження. Результатом формування і реалізації ефективної фінансової політики підприємства має бути його стабільний фінансовий стан, здатність розвиватися у перспективі (Роганова & Кравченко, 2020). Оцінку фінансового стану підприємства коефіцієнтним методом можна здійснювати шляхом розрахунку системи економічних показників за напрямками аналізу майнового стану, ліквідності, фінансової стійкості, ділової активності, рентабельності (Набатова & Чорненко, 2018).

Розраховані основні показники аналізу фінансового стану досліджуваного підприємства АТ «Укрпошта» за 2018—2020 рр. наведено у табл. 1—7. Дані офіційної публічної звітності підприємства використовувались як джерела інформації для аналізу фінансового стану.

Результати табл. 1 свідчать про неповне виконання умов ліквідності балансу підприємства. У 2018 р. високоліквідні активи не покривають найбільш термінові пасиви на суму 1614,7 млн грн, у 2019 р. — на 1233,7 млн грн, а в 2020 р. — на 1006,4 млн грн. За досліджуваний період спостерігається надлишок швидколіквідних активів проти короткострокових пасивів. Недотримання 1, 3 та 4 умов ліквідності балансу не задовольняє співвідношення, проте решта дає змогу підприємству підтримувати ліквідність балансу.

Таблиця 1. **Аналіз ліквідності балансу,** млн грн

Актив	2018	2019	2020	Пасив	2018	2019	2020	Платіжний надлишок або нестача		
								2018	2019	2020
(А1)	1847	3675	5441	(П1)	3462	4909	6448	–1615	–1234	–1006
(А2)	379	466	513	(П2)	113	42	264	266	424	249
(А3)	236	195	226	(П3)	187	405	611	49	–209	–386
(А4)	3567	3571	3729	(П4)	2268	2552	2586	1299	1019	1143
Баланс	6029	7907	9909	Баланс	6029	7907	9909			

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

З рис. 1 можна констатувати, що протягом 2018—2020 рр. спостерігалось зростання всіх відносних коефіцієнтів ліквідності. Коефіцієнт абсолютної ліквідності показує, що у 2018—2020 рр. на 52—78% підприємство може в поточний момент погасити всі свої короткострокові борги. Коефіцієнт швидкої ліквідності та критичної ліквідності знаходяться у нормативних межах. Коефіцієнт поточної ліквідності є нижчим встановленого нормативу, це означає, що підприємству недостатньо загальної величини оборотних активів для погашення всіх поточних зобов'язань за досліджуваний період. У цілому можна визначити, що підприємство є платоспроможним та ліквідним.

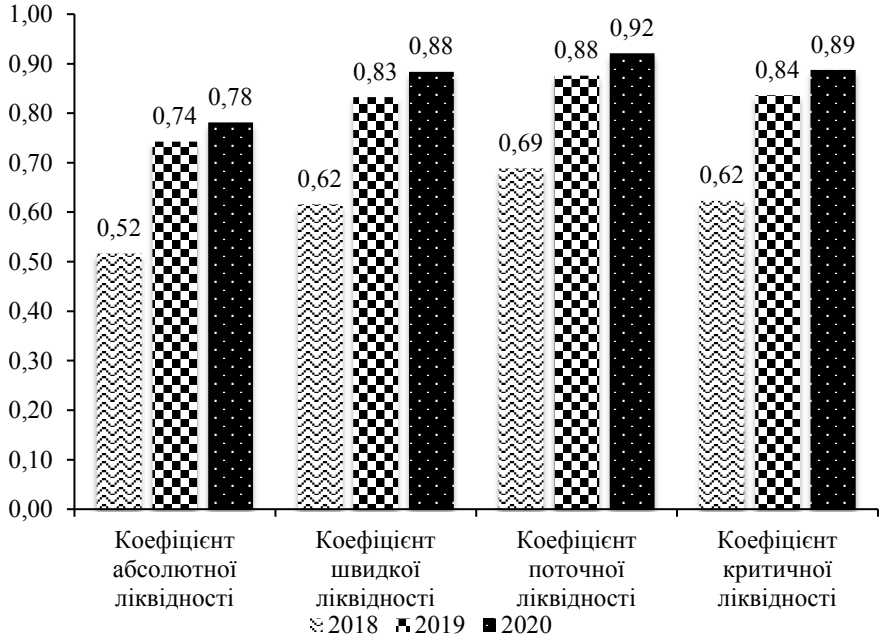


Рис. 1. Динаміка відносних показників ліквідності, побудовано авторами на основі розрахунків з фінансової звітності підприємства

Аналіз відносних показників фінансової стійкості підприємства, здійснений у табл. 2, свідчить про недотримання встановлених нормативних меж. Як наслідок, підприємство залежить від позикових коштів і за досліджуваний період спостерігається нестабільна фінансова стійкість, що негативно характеризує діяльність підприємства.

Таблиця 2. **Аналіз відносних показників фінансової стійкості підприємства**

Найменування показника	Норматив	2018	2019	2020	Абсолютне відхилення		
					2019—2018	2020—2019	2020—2018
Коефіцієнт фінансової незалежності	> 0,5	0,38	0,32	0,26	–0,05	–0,06	–0,12
Коефіцієнт фінансової залежності	< 2	2,66	3,10	3,83	0,44	0,73	1,17
Коефіцієнт фінансової стійкості	> 0,85—1	0,60	0,48	0,35	–0,13	–0,12	–0,25
Коефіцієнт фінансування (фінансової стабільності)	> 0,7—0,9	0,41	0,37	0,32	–0,03	–0,05	–0,08
Коефіцієнт заборгованості	< 1	0,62	0,68	0,74	0,05	0,06	0,12
Коефіцієнт фінансового левериджу	< 1	1,66	2,10	2,83	0,44	0,73	1,17
Коефіцієнт маневреності власного капіталу	> 0,2	–0,49	–0,24	–0,17	0,25	0,07	0,32
Коефіцієнт маневреності позикового капіталу	> 0	–0,30	–0,11	–0,07	0,18	0,04	0,22
Коефіцієнт інвестування	≥ 1	0,66	0,77	0,76	0,11	–0,01	0,10

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

Як свідчать результати розрахунку абсолютних показників фінансової стійкості (табл. 3) АТ «Укрпошта», фінансовий стан його є нестійким ($\Delta К_{во} < 0$; $\Delta К_{вдп} < 0$; $\Delta К_{заг} > 0$;). Це означає, що підприємством для забезпечення запасів, крім власних оборотних активів, залучаються довгострокові кредити та короткострокові позики, платоспроможність порушена, але підлягає відновленню.

Таблиця 3. **Аналіз абсолютних показників фінансової стійкості, тис. грн**

Показник	2018	2019	2020	Відхилення, (+/–)		
				2019—2018	2020—2019	2020—2018
Власний оборотний капітал (ВОК)	–1299075	–1019377	–1044627	279698	–25250	254448
Робочий капітал (РК)	–1112484	–614513	–531852	497971	82661	580632
Загальна сума джерел фінансування запасів і витрат (Кзаг)	2461854	4336303	6180138	1874449	1843835	3718284
Надлишок або нестача власних оборотних коштів	–1534912	–1214758	–1270181	320154	–55423	264731
Надлишок або нестача робочого капіталу	–1348321	–809 894	–757406	538427	52488	590915
Надлишок або нестача загальної величини джерел фінансування запасів і витрат	2226017	4140922	5954584	1914905	1813662	3728567
Тип фінансової стійкості	Нестійкий фінансовий стан	Нестійкий фінансовий стан	Нестійкий фінансовий стан	—	—	—

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

За результатами аналізу показників рентабельності (табл. 4) спостерігається в цілому позитивна динаміка. Рентабельність операційної діяльності у 2018 р. має від'ємне значення через присутність збитку від операційної діяльності у 2018 р., проте компанія покращила свої результати і в 2020 р. цей показник збільшився на 13,41%. Операційна рентабельність продажу (операційна маржа) показує, що в 2020 р. кожна гривня продажів дала змогу отримати 2,02 коп. операційного прибутку. Економічна рентабельність капіталу (рентабельність активів) показує у 2020 р., що 1,66 коп. прибутку припадає на 1 грн активів. Щодо рентабельності власного капіталу, то в 2020 р. кожна залучена гривня власних коштів дала змогу отримати 6,38 коп. чистого прибутку. Отже, через збиток (чистий фінансовий результат) у 2018 р. показники рентабельності за цей рік здебільшого мають від'ємне значення. Варто відмітити, що в наступних роках підприємство отримало прибуток, як наслідок — позитивна динаміка рентабельності.

Таблиця 4. **Аналіз показників рентабельності підприємства,** %

Показник	2018	2019	2020	Відхилення, (+/–)		
				2019—2018	2020—2019	2020—2018
Витратні показники рентабельності						
1	2	3	4	5	6	7
Рентабельність продукції за валовим прибутком	6,89	17,90	18,11	11,01	0,21	11,21

Продовження таблиці 4

1	2	3	4	5	6	7
Рентабельність операційної діяльності	–10,60	8,08	2,81	18,68	–5,27	13,41
Рентабельність звичайної (господарської) діяльності	–8,14	6,12	2,21	14,26	–3,91	10,35
Доходні показники рентабельності						
Валова рентабельність продажу	6,45	15,18	15,33	8,73	0,15	8,88
Операційна рентабельність продажу (операційна маржа)	–9,91	6,45	2,02	16,36	–4,43	11,93
Чиста рентабельність продажу (реалізації)	–7,65	5,21	1,80	12,86	–3,42	9,45
Ресурсні показники рентабельності						
Економічна рентабельність капіталу (рентабельність активів)	–8,42	5,13	1,66	13,55	–3,46	10,09
Фінансова рентабельність (Рентабельність власного капіталу)	–22,39	15,89	6,38	38,28	–9,51	28,77
Рентабельність оборотних активів	–20,63	9,35	2,67	29,97	–6,68	23,29
Рентабельність виробництва (рентабельність основних засобів)	–18,44	14,05	5,11	32,49	–8,94	23,55
Рентабельність інвестованого капіталу	–19,78	13,52	4,76	33,30	–8,75	24,54

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

Під час аналізу фінансового стану підприємства також використовується інтегральна оцінка, результати якої наведено у табл. 5—6. Інтегральна оцінка підприємства передбачає характеристику показників фінансового стану, оскільки вони мають різну дію, тобто вони мають різну вагу, то для встановлення рейтингу необхідно використовувати формулу середньоарифметичної зваженої, яка забезпечує певний рівень значущості для кожного показника. Після стандартизації формула буде мати такий вигляд [3]:

$$I = \sum_{1}^{m} \frac{x_i}{a_i} \cdot w_i,$$

де: m — кількість фінансових показників рейтингової оцінки; x_i — фактичне значення фінансового показника; a_i — стандартне значення фінансового показника; w_i — вага (значимості) фінансового коефіцієнта.

Таблицям 5. **Інтегральна оцінка фінансового стану АТ «Укрпошта»**

Показник	w_i	a_i	2018 р.		2019 р.		2020 р.	
			z, y, x	*Si*	*z, y, x*	*Si*	*z, y, x*	*Si*
Показники ефективності використання капіталу								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прибутковість поточних активів	6	0,1	–0,21	–12,38	0,09	5,61	0,03	1,60
Ефективність використання власного капіталу	2	0,1	–0,22	–7,46	0,16	5,30	0,06	2,13
Загальна рентабельність продукції	10	0,1	–0,07	–6,90	0,05	5,20	0,02	1,81
Рентабельність продажу по чистому прибутку	4	0,1	–0,077	–6,12	0,05	4,17	0,02	1,44

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коефіцієнт оборотності оборотних коштів	3	2,4	1,99	2,49	2,29	2,86	1,48	1,85
Коефіцієнт оборотності кредиторської заборгованості	3	5	1,61	0,97	1,82	1,09	1,57	0,94
Z				-29,41	*X*	24,23	*X*	9,77
Показники платоспроможності та ліквідності								
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	2	0,2	0,52	5,17	0,74	7,42	0,78	7,82
Коефіцієнт покриття	2	0,7	0,69	1,97	0,88	2,50	0,92	2,63
Y				7,14	*X*	9,93	*X*	10,45
Показники фінансової стійкості								
Коефіцієнт забезпеченості запасів власними оборотними коштами	2	0,1	–4,7	–94,34	–3,1	–62,9	–2,4	–47,16
Коефіцієнт фінансової незалежності	2	0,5	0,38	1,50	0,32	1,291	0,26	1,0439
X				–92,84	*X*	–61,61	*X*	–46,12
Інтегральний показник (*I*)				–115,11	*X*	–27,46	*X*	–25,90

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

З огляду на розрахунки, здійснені у табл. 5, можна стверджувати, що АТ «Укрпошта» протягом 2018—2020 рр. відноситься до незадовільного фінансового стану, який характеризується збитковою діяльністю у 2018 р., залежністю від зовнішніх джерел фінансування та низьким рівнем фінансової стійкості (табл. 6).

Таблиця 6. **Характеристика фінансового стану**

Рік	*Z*	*Y*	*X*	Тип фінансового стану	I	Фінансовий стан
2018	–29,41	7,14	–92,84	4 тип	–115,11	Незадовільний фінансовий стан
2019	24,23	9,93	–61,61	6 тип	–27,46	Незадовільний фінансовий стан
2020	9,77	10,45	–46,12	6 тип	–25,90	Незадовільний фінансовий стан

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

Отже, за результатами аналізу можна зробити такі висновки: інтегральний показник за досліджуваний період має від'ємне значення, здебільшого через низьке значення коефіцієнта забезпеченості запасів власними оборотними коштами. В той же час виділено, що у 2018 р. підприємству характерний 4 тип фінансового стану, що свідчить про неефективне використання капіталу і призводить до втрати фінансової незалежності. У 2019—2020 рр. підприємство відноситься до 6 типу фінансового стану. Це означає, що компанія є прибутковою, проте залежить від зовнішніх джерел фінансування.

З метою уникнення краху суб'єктів підприємницької діяльності були розроблені різноманітні методики щодо прогнозування майбутнього стану підприємств. Питання діагностики банкрутства підприємства стали досить актуальними в економічній науці. Така увага зумовлена тим, що банкрутство певного суб'єкта господарювання порушує макроекономічну рівновагу, а тому його запобігання та підтримка є дуже важливою на ринку економічних відносин (Добровольська & Рондова, 2021). Табл. 7 містить результати діагностики банкрутства досліджуваного підприємства в динаміці за три роки.

Таблиця 7. **Моделі діагностики ймовірності банкрутства**

Модель банкрутства	Фактичне значення	Висновок по АТ «Укрпошта»	Відмінності оцінок
Е. Альтмана (1968)	2018 — 0,78; 2019 — 1,46; 2020 — 1,17	Імовірність банкрутства є дуже високою	Негативна оцінка фінансового потенціалу розвитку
Г. Спрінгейта (1978)	2018 — –0,213; 2019 — 0,514; 2020 — 0,343	Підприємство є потенційним банкрутом	
Ж. Конана і М. Гольдера (1979)	2018 — 0,159; 2019 — 0,073; 2020 — 0,078	Імовірність затримки платежів близько 80%, висока ймовірність банкрутства	
О. Терещенка (2002)	2018 — 1,815; 2019 — 3,363; 2020 — 2,526	Підприємство вважається фінансово стійким	Позитивна оцінка фінансового потенціалу розвитку
Р. Таффлера і Тісшоу (1977)	2018 — 0,27; 2019 — 0,43; 2020 — 0,39	Імовірність банкрутства низька	
Р. Ліса (1972)	2018 — 0,026; 2019 — 0,050; 2020 — 0,049	Загроза банкрутства низька	
Дж. Олсона (1980)	2018 — 0,02; 2019 — 0,03; 2020 — 0,05	Не існує ймовірності настання банкрутства	

Примітка: розраховано авторами на основі фінансової звітності підприємства.

Згідно з результатами діагностики банкрутства АТ «Укрпошта», 43% застосованих моделей показують, що підприємство потенційно може збанкрутувати, але інші моделі (57%) дають результат низької ймовірність банкрутства. Така ситуація пов'язана зі складністю використання іноземних методів кризового аналізу для українських суб'єктів підприємницької діяльності. В цілому спостерігається позитивна тенденція щодо *Z*-значення для всіх моделей, які розглядаються на предмет імовірності банкрутства компанії.

Висновки

Фінансовий стан підприємства є комплексною характеристикою діяльності компанії. Аналіз фінансового стану підприємства дає якісну та кількісну інформацію про його діяльність, необхідну багатьом учасникам ринку.

На фінансовий стан підприємства мають вплив усі види діяльності компанії. До прикладу, позитивно впливає безперебійне виробництво та продаж якісної продукції. Тобто чим вище виробництво та продаж продукції, товарів і послуг, тим нижча собівартість і вища прибутковість бізнесу.

Опрацьовані відносні та абсолютні показників ліквідності свідчать про порушення ліквідності балансу, оскільки умови ліквідності балансу виконуються не в повній мірі. В той же час можна спостерігати позитивну динаміку зростання відносних показників ліквідності та рентабельності. Абсолютні показники фінансової стійкості характеризують фінансовий стан як нестійкий. Простежується недотримання встановлених нормативних меж для відносних показників фінансової стійкості. Інтегральна оцінка фінансового стану підтвердила висновок про незадовільний фінансовий стан підприємства протягом усього періоду дослідження. Здійснена всебічна оцінка ймовірності банкрутства (за моделями Е. Альтмана, Г. Спрінгейта, Ж. Конана і М. Гольдера, О. Терещенка, Р. Таффлера і Тішоу, Р. Ліса, Дд. Олсона) дала змогу поділити моделі діагностики на такі, що дають протилежні результати. Це пояснюється різноманіттям факторів, включених до таких моделей.

Для поліпшення фінансового стану підприємства пропонуємо такі заходи: впровадження ефективних методів управління фінансовою діяльністю; підвищення ефективності інноваційно-інвестиційної діяльності; зменшення витрат собівартості; підвищення конкурентоспроможність продукції; розширення ринків збуту; вдосконалення маркетингової політики.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці заходів щодо покращення фінансового стану підприємства, які мають на меті підвищення прибутковості та конкурентоспроможності підприємства.

Література

Бержанір, І. А., Вінницька, О. А., Гвоздєй, Н. І. (2018). Інтегральна оцінка фінансового стану підприємства. *Молодий вчений*, 2(2), 682—686.

Добровольська, О. В., Рондова, М. А. (2021). Прогнозування банкрутства як методу оцінки фінансового стану підприємства. *Агросвіт*, 20, 40—45. http://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.20.40.

Книшек, О. О., Тарасенко, Ю. О. (2018). Фінансовий аналіз діяльності підприємства в умовах економічної нестабільності. *Економічний простір*, 139, 171—181. http://doi.org/10.30838/ P.ES.2224.271018.171.282.

Ковалевська, А. В., Асєєв, С. І. (2012). Критичний аналіз методів оцінки фінансового стану підприємства. *Бізнес Інформ*, 3, 163—169.

Коваленко, О. В., Лихойванова, А. О. (2018). Особливості експрес-аналізу фінансового стану підприємства. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії*, 3(15), 89—93.

Корпоративна фінансова звітність АТ «Укрпошта» (2022). Взято з https://www.ukrposhta.ua.

Либа, В. Ю., Черевко, Я. О., Ткачук, В. В. (2018). Огляд та аналіз моделей діагностики банкрутства підприємств. *Держава та регіони*, 6(105), 131—137.

Ливдар, М. В., Чубка, О. М., Фітяк, Д. А. (2022). Оцінка фінансового стану та ймовірності банкрутства АТ «Укрзалізниця». *Економіка та суспільство,* 36. http://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-36-17.

Набатова, Ю. О., Чорненко, О. С. (2018). Шляхи та напрямки поліпшення фінансової діяльності суб'єкта господарювання. *Ефективна економіка*, 11. http://doi.org/10.32702/2307-2105-2018.11.76.

Патарідзе-Вишинська, М. В. (2019). Діагностика фінансового стану підприємств як інструмент управління фінансовою безпекою. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»* : науковий журнал, 12(40), 140—145.

Поддєрьогін, А. М., Чорна, Н. М. (2018). Методичні підходи до оцінки фінансового стану підприємства: вітчизняний та зарубіжний досвід. *Збірник наукових праць Університету державної фіскальної служби України*, 1, 150—160.

Роганова, Г. О., Котлярова, М. А. (2021). Аналіз та оптимізація структури капіталу. *Modern Economics*, 27, 167—176. doi: 10.31521/modecon.V27(2021)-23.

Роганова, Г. О., & Кравченко, І. В. (2020). Оцінка ліквідності та платоспроможності підприємства на прикладі кондитерської фабрики ПАТ «Ласощі». Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту: Економічні науки, III (79), 92—103.

Сич, О. А., Калічак, І. І. (2017). Дискримінантний аналіз і його застосування в прогнозування банкрутства підприємства. *Молодий вчений,* 2(42), 333—339.

Смолій, Л. В. (2019). Комплексна оцінка фінансового стану переробних підприємств АПК на основі використання рейтингових та матричних моделей. Формування інституціонального середовища розвитку економіки України: кол. монографія / за ред. О.О. Непочатенко. Умань, ВПЦ Візаві, 178—190.

Стеблюк, С. В., Фізер, Л. І. (2020). Роль фінансового аналізу у визначенні бізнес-стратегії торгівельних підприємств. *Ефективна економіка.* 1. Взято з http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/1_2020/54.pdf.

Alkaabi, A., Alkuwaiti, M., Nobanee, H. (2022). Financial Statement Analysis of Starbucks. Взято з https://www.researchgate.net/profile/Haitham-Nobanee/publication/358042712_Financial_Statement_Analysis_of_Starbucks/links/61ed840a8d338833e38d2ddf/Financial-Statement-Analysis-of-Starbucks.pdf.

Li, X., Cai, Zh., Wu, X., Chen, L. (2021). Financial Statement Analysis of Nanjing Yinfei company based on Harvard Analytical Framework. *International Journal of Scientific Advances*, 2(2), 88—92.

Wei, X. (2021). A Method of Enterprise Financial Risk Analysis and Early Warning Based on Decision Tree Model. *Security and Communication Networks*, Article ID 6950711. http://doi.org/10.1155/2021/6950711.

Welc, J. (2022). Financial Statement Analysis. In: *Evaluating Corporate Financial Performance*. Palgrave Macmillan, Cham. http://doi.org/10.1007/978-3-030-97582-1_3.

УДК 336.76(477)

CURRENT STATE, RISKS AND PROSPECTS OF SECURITIES TRADING IN UKRAINE

M. Arych, I. Demianenko
National University of Food Technologies

Key words:
Securities
Stock market
Stock
Bond
Broker
Dealer
Underwriting

Article history:
Received 17.05.2022
Received in revised form 30.05.2022
Accepted 13.06.2022

Corresponding author:
M. Arych
E-mail:
arychmisha@gmail.com

ABSTRACT

The research paper showes study of current features, risks and areas of improvement of instruments, methods and conditions of securities trading in Ukraine. All possible factors currently affecting the economy as a whole, as well as the securities market in particular were taken into account. The study was conducted systematically and comprehensively on the basis of a review of domestic and foreign literature sources, based on such research methods as analysis (studying the current state of securities trading), comparison (structuring risks and prospects of the stock market in Ukraine), generalization (substantiating conclusions of scientific work). In order to deepen the analysis and form conclusions, research was structured describing such components as state regulation of the securities market, the current state and trends of the securities market in Ukraine, analysis of the impact of military aggression on the economy and stock market. in particular, the problems and risk factors of securities traders, as well as the most effective tools to eliminate them. It was found that trading in securities over the past year was quite active in many types of financial instruments (stocks, investment certificates, bonds, options, futures, etc.). At the same time, the main share among trade objects is occupied by domestic government bonds, which, given the negative impact of direct full-scale military aggression of the Russian Federation in Ukraine, are likely to be an even more important financial instrument in the market given the need to attract additional financial resources. It is defined that the main problems of the securities trader market in Ukraine are the low level of liquidity, instability of the political, economic and social components of the state development, etc. It is proposed to consider the need to simplify state supervision, improve information and analytical support as ways to increase the efficiency of securities traders.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-5

СУЧАСНИЙ СТАН, РИЗИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ТОРГІВЛІ ЦІННИМИ ПАПЕРАМИ В УКРАЇНІ

М. І. Арич, І. В. Дем'яненко
Національний університет харчових технологій

У статті проведено дослідження поточних особливостей, ризиків і напрямів удосконалення інструментів, методів та умов торгівлі цінними паперами в Україні з урахуванням всіх можливих нині факторів впливу на економіку країни в цілому, а також на ринок цінних паперів зокрема. Дослідження проводилося системно та комплексно на основі як огляду вітчизняних та іноземних літературних джерел, ґрунтуючись при цьому на таких методах наукового дослідження, як аналіз (вивчаючи сучасний стани торгівлі цінними паперами), порівняння (структуруючи ризики та перспективи розвитку фондового ринку в Україні), узагальнення (обґрунтовуючи висновки даної наукової роботи) тощо. З метою глибини аналізу та формування обґрунтованих висновків пропоноване наукове дослідження було структуроване, описуючи такі складові, як державне регулювання ринку цінних паперів, сучасний стан і тенденції розвитку ринку торгівлі цінними паперами в Україні, аналіз впливу військової агресії Російської Федерації в цілому на економіку країни та фондовий ринок зокрема, проблеми та фактори ризику торгівлі цінними паперами, а також найбільш ефективні інструменти їх усунення.

Встановлено, що торгівля цінними паперами протягом останнього року відбувалася досить-таки активними темпами і за багатьма видами фінансових інструментів (акції, інвестиційні сертифікати, облігації, опціони, ф'ючерси тощо). При цьому основну питому ваги серед об'єктів торгівлі займають облігації внутрішньої державної позики, які з урахуванням негативного впливу прямої повномасштабної військової агресії Російської Федерації в Україні скоріше за все будуть ще більш важливим фінансовим інструментом на ринку з огляду на необхідність залучення додаткових фінансових ресурсів до державного бюджету. Визначено, що основними проблемами ринку торгівлі цінними паперами в Україні є низький рівень ліквідності, нестабільність політичної, економічної та соціальної складової розвитку країни тощо. Як напрями підвищення ефективності торгівлі цінними паперами пропонується розглянути необхідність спрощення державного нагляду, покращення інформаційно-аналітичного забезпечення тощо.

Ключові слова: *цінні папери, фондовий ринок, акція, облігація, брокер, дилер, андеррайтинг.*

Постановка проблеми. Прогресивний розвиток соціально-економічної сфери кожної країни нерозривно пов'язаний із зростанням фінансових потреб усіх учасників ринку: держави, підприємств, організацій і населення. Причому часто необхідність залучення цими суб'єктами тимчасово вільних коштів є настільки великою та визначальною для подальшого функціонування, що учасники ринку ведуть дуже жорстку конкурентну боротьбу між собою за ці ресурси, адже це

буде визначати їхню майбутню успішність. На сьогодні одним із найбільш ефективних інструментом як залучення фінансових ресурсів, так і надання в користування тимчасово вільних коштів є фондовий ринок та можливість торгівлі цінними паперами всіма учасниками ринку. При цьому Україна сьогодні знаходиться на межі структурних зрушень, адже вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на економіку країни в сучасних умовах важко переоцінити. Така ситуація вимагає якісного та системного підходу до аналізу поточного стану умов, можливостей та загроз торгівлі цінними паперами в Україні, адже ризики, з якими стикається сьогодні ринок цінних паперів у державі, є особливо значущими.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання умов і сучасного стану торгівлі цінними паперами в Україні на сьогодні є предметом досліджень багатьох вітчизняних вчених. Так, досліджено обмеженість інструментарію фондового ринку в Україні (Зайцева, 2021) і вказано, що основними її факторами є форма допуску до торгів на регульованому ринку, ступінь публічності емітента (у контексті організаційно-правової форми), ступінь ліквідності цінних паперів і форма пропозиції цінних паперів. З точки зору ліквідації обмеженості та підвищення ефективності функціонування ринку цінних паперів було б доцільно розширити використання таких інструментів, як зелені облігації, опціонні сертифікати, депозитні розписки та сертифікати. На сьогодні саме зелені облігації та похідні цінні папери (з огляду на специфіку та особливості економіки країни) могли б стати умовою стрімкого зростання рентабельності діяльності для всіх учасників ринку в Україні.

Обґрунтовано необхідність використання деривативів як перспективний напрямок для вдосконалення фондового ринку і наголошено, що саме деривативи є дієвим інструментом для хеджування ризиків покупців і продавців цінних паперів (Ярошевська, 2020).

Щодо особливостей розміщення корпоративних цінних паперів в Україні, то на сьогодні задля прогресивного розвитку економіки країни необхідним є активізація емісійної діяльності суб'єктів господарювання та вихід їх на біржовий організований ринок (Лаптєв & Білаш, 2018). Адже нині обсяг торгів на біржовому ринку в Україні не повністю задовольняє потреби економіки, при цього основним фінансовим інструментом є поки що державні облігації (Штефан & Мацедонська, 2020). Таку ситуацію можна пояснити високою дохідністю вищевказаних цінних паперів порівняно з облігаціями підприємств. Також вважаємо, що збільшення інтенсивності випуску цінних паперів підприємства повинно відбуватися з дотриманням найефективнішого співвідношення між поточним ризиком та дохідністю від цих операцій.

Аналіз особливостей, проблем і перспектив правового регулювання торгівлі цінними паперами показав, що наявні недосконалості пов'язані більшою мірою із поточною неможливістю прирівнюватися до міжнародних стандартів правового регулювання ринку торгівлі цінними паперами (Чепульченко & Монаршука, 2020). Однак з огляду на останні євроінтеграційні зміни в Україні питання адаптації всього вітчизняного законодавства, зокрема й того, що стосується ринку цінних паперів (Савченко, Луштей & Пльонсак, 2021), буде вирішуватися швидше та ефективніше, ніж раніше. Сучасний ринок цінних паперів перебуває під впливом негативних факторів глобальних змін (Кутузова, 2014), що підтверджується низьким рівнем індикатора легкості ведення бізнесу, що, у свою чергу,

зменшує бажання іноземних та вітчизняних інвесторів активно вкладати та інвестувати фінансові ресурси (Мацук, 2020).

Діапазон наукових досліджень ринку торгівлі цінними паперами є доситьтаки широким. Так, підтверджено, що COVID-19 має суттєвий негативний вплив на фондовий ринок у цілому, але що стосується конкретно ринку облігацій, то цей вплив є, навпаки, позитивним (Chen, Wang, Li, Liu & Li, 2021; Davis, Liu & Sheng, 2022). Згідно з першим висновком, інвестори та регулятори повинні покращити усвідомлення наявних на ринку цінних паперів ризиків. При цьому теоретично та практично показано, що рівень успішності первинного розміщення акцій IPO («Initial Public Offering») на ринку цінних паперів є прямо пропорційним рівню технологічності продуктів і послуг, що пропонує певний суб'єкт господарювання (Prędkiewicz, Pauka & Prędkiewicz, 2021). Крім цього, публічне розміщення акції на ринку IPO — один з найбільш успішних інструментів залучення фінансових ресурсів для компанії, що розвивається, а також визначення її реальної ринкової вартості (Jeelan, Haralayya & Vibhute, 2021; Singh, Mohapatra & Kalra, 2020; Zhang, Zhong & Bai, 2022).

Метою дослідження є аналіз сучасного стану та перспектив торгівлі цінними паперами в Україні, а також визначення основних факторів, що стримують розвиток цього виду діяльності і пошук методів та інструментів оптимізації, які б могли сприяти вдосконаленню не тільки фондового ринку, а й усієї економіки України.

Матеріали і методи. Основними джерелами матеріалів, на яких ґрунтується пропоноване дослідження, є наукові публікації, розміщені в таких базах, як ResearchGate, ScienceDirect, Google Scholar тощо. Також було проведено критичний та системний аналіз схожих за темою і змістом публікацій задля найбільш повного та всеохоплюючого дослідження сучасного стану й перспектив торгівлі цінними паперами в Україні.

Викладення основних результатів дослідження. Формування висококонкурентного ринкового середовища в країні вимагає від суб'єктів ринку якісного та ефективного використання всіх можливих джерел залучення додаткових фінансових ресурсів та напрямів їх раціонального та найменш ризикованого інвестування (Ільчук, Гавриленко & Садчикова, 2016). Такі можливості для практично всіх суб'єктів підприємницької діяльності є доступними завдяки фондовому ринку та купівлі-продажу цінних паперів, широкий спектр яких дає змогу вибрати для кожного із суб'єктів ринку найбільш вигідний для себе спосіб залучення та інвестування фінансових активів. Однак цей сектор в Україні наразі стикається з багатьма ризиками.

Особливості державного регулювання. Сьогодні в Україні основні функції щодо державного регулювання, визначення умов і принципів контролю щодо торгівлі цінними паперами покладені на Національну комісія з цінних паперів та фондового ринку (далі — НКЦПФР) (Закон України «Про засади державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності», 2004; Закон України «Про ринки капіталу та організовані товарні ринки», 2006). При цьому, враховуючи цілі та завдання, ключовою метою функціонування НКЦПФР у контексті такого регулювання є оптимізація та зростання ефективності корегування фінансового

(фондового) сектору економіки, а також визначення напрямів для дієвої реалізації унітарної державної політики щодо випуску й обігу на ринку цінних паперів і захист прав усіх суб'єктів торгівлі цінними паперами, в тому числі дотримуючись принципів послідовності, прозорості, відкритості та врахування громадської думки (Закон України «Про ринки капіталу та організовані товарні ринки», 2006; Закон України «Про акціонерні товариства», 2008; Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку, «Регуляторна діяльність», 2022; Вінокуров, 2022) (рис. 1).

Рис. 1. Регуляторні напрями діяльності НКЦПФР щодо торгівлі цінними паперами в Україні, сформовано авторами на основі даних (Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку, «Регуляторна діяльність», 2022)

Так, система державного регулювання ринку торгівлі цінними паперами на законодавчому рівні визначає вимоги (правила) щодо здійснення діяльності з торгівлі цінними паперами: брокерської діяльності, дилерської діяльності, андеррайтингу, управління цінними паперами (Про затвердження Вимог (правил) щодо здійснення діяльності з торгівлі цінними паперами: брокерської діяльності, дилерської діяльності, андеррайтингу, управління цінними паперами, Рішення НКЦПФР, №640, 2020), вимоги до договорів, які укладаються під час провадження професійної діяльності на фондовому ринку — діяльності з торгівлі цінними паперами: брокерської діяльності, дилерської діяльності, андеррайтингу, управління цінними паперами (Про затвердження Вимог до договорів, які укладаються під час провадження професійної діяльності на фондовому ринку (ринку цінних

паперів) — діяльності з торгівлі цінними паперами: брокерської діяльності, дилерської діяльності, андеррайтингу, управління цінними паперами, Рішення НКЦПФР, № 641, 2020), встановлює умови провадження професійної діяльності на фондовому ринку (ринку цінних паперів) — діяльності з торгівлі цінними паперами (Про затвердження Ліцензійних умов провадження професійної діяльності на фондовому ринку (ринку цінних паперів) — діяльності з торгівлі цінними паперами, Рішення НКЦПФР, № 819, 2013), а також інші види діяльності. Перелік регуляторної діяльності Національної комісії з цінних паперів та фондового ринку на сьогодні вимагає бути більш гнучким і швидко реагувати на всі зовнішні та внутрішні зміни на ринку цінних паперів, адже воєнні дії на території України дуже вагомо впливають соціально-економічну та фінансову ситуацію в країні.

Важливими завданнями державного регулювання торгівлі цінними паперами є такі (Босак, & Дойнік, 2021; Лаптєв, & Білаш, 2018; Редько, & Гаркавенко, 2020; Третякова, Харабара, & Грешко, 2020; Чепульченко, & Монаршука, 2020; Alzyadat, & Asfoura, 2021; Camilleri, & Galea, 2019; Chen, Wang, Lia, Liu, & Li, 2021):

- зростання конкурентоспроможності економіки країни;
- забезпечення рівних можливостей та доступу до фінансових інструментів для всіх учасників ринку (емітентів, інвесторів, посередників);
- гарантування прав власності на цінні папери;
- формування умов для ефективної мобілізації та розміщення тимчасово вільних фінансових активів;
- забезпечення обґрунтованого ціноутворення на інструменти фондового ринку;
- створення сприятливих умов для подальшого синергетичного розвитку всієї економіки країни;
- стимулювання розвитку ринку торгівлі цінними паперами тощо.

При цьому вказаний перелік завдань державного регулювання ринку цінних паперів є в основному вичерпним і всеохоплюючим, поєднуючи в собі необхідні та перспективні напрями регулювання фондового ринку.

Динаміка і тенденції розвитку ринку. Згідно з офіційними даними державного регулятора (Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку, «Аналіз ринку», 2022) ринок торгівлі цінними паперами в Україні за останній звітний 2021 рік функціонував більш-менш стабільними темпами, що підтверджують такі показники, як обсяг випуску акцій (всього 42884,28 млн грн, коливаючись при цьому від мінімального значення 124,96 млн грн у січні 2021 р., і до максимального — 20734,22 млн грн у жовтні цього ж року), кількість випусків акцій (всього 86 випусків за звітний рік), обсяг торгів фінансовими інструментами на операторах організованих ринків капіталу (451960,57 млн грн: мінімальне значення — 17296,76 у травні, максимальне — 53908,05 млн грн у листопаді). Що стосується показників обсягу торгів фінансовими інструментами на операторах організованих ринків капіталу з розподілом за видом фінансового інструменту протягом 2021 р., то основну питому вагу займають облігації внутрішньої державної позики, далі йдуть облігації зовнішніх державних позик, облігації підприємств, облігації внутрішніх місцевих позик та акції. Частки всіх інших видів фінансових інструментів є досить-таки незначними (табл. 1).

Таблиця 1. **Показники здійснення торгів цінними паперами по різних видах фінансових інструментів протягом 2021 року,** сформовано та розраховано автором на основі даних (Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку, «Аналіз ринку», 2022).

Показники торгів	Вид фінансових інструментів												
	Акція	Акція іноземного емітента	Акція КІФ	Інвестиційний сертифікат	Облігація внутрішніх державних позик	Облігація внутрішніх місцевих позик	Облігація зовнішніх державних позик	Облігація іноземного емітента	Облігація іноземної держави	Облігація підприємства	Опціонний сертифікат	Ф'ючерсний контракт	Фінансовий інструмент іноземного емітента
Обсяг (у млн грн)	591,08	104,16	0,14	15,74	443756,88	1916,04	2784,66	109,44	228,06	2395,05	22,15	37,17	0,01
Питома вага (у %)	0,131	0,023	0,000	0,003	98,185	0,424	0,616	0,024	0,050	0,530	0,005	0,008	0,000

Дані таблиці показують, що основну питому частку займає один з видів саме державних цінних паперів — облігації внутрішньої державної позики (понад 98 % у 2021 р.). Така ситуації пояснюється високим рейтингом цього фінансового інструменту в інвесторів, враховуючи як показник прибутковості, так і рівень безпечності та надійності такого виду інвестування.

Вплив військової агресії Російської Федерації на ринок торгівлі цінними паперами. Станом на сьогодні з урахуванням всієї глибини ситуації, пов'язаної із повномасштабним військовим вторгненням Російської Федерації (далі — РФ) в Україну, економіка всієї країни перебуває під ризиком стрімкого скорочення валового внутрішнього продукту (в тому числі), втрати людського капіталу, збільшення безробіття, інфляції та девальвації національної грошової одиниці. Всі ці фактори разом будуть мати вагомий вплив також і на ринок торгівлі цінними паперами, адже ці фінансові інструменти служать ефективних засобом залучення та інвестування фінансових ресурсів суб'єктів господарювання. Так, облігації внутрішньої державної позики сьогодні є особливо актуальними як джерело компенсації доходів держбюджету, що були недоотримані внаслідок військової агресії РФ. Адже наразі податкові та митні надходження не перевищують навіть третини всіх планових видатків, при цьому Україні не вистачає приблизно 5 млрд грн щомісяця, що перекривається урядом за рахунок зовнішнього фінансування (Вінокуров, 2022). Важливим елементом поповнення недоотриманої частини доходів державного бюджету є випуск Міністерством фінансів військових облігацій, однак за сумою залучених ресурсів цей вид доходів поки що далекий від того, щоб бути ключовим. Крім цього, як наслідок високих інфляційних і девальва-

ційних очікувань населення та бізнесу, Національний банк України різко підвищив облікову ставку з 10% до 25% річних (Вінокуров, 2022). Така ситуація повинна була б вплинути також і на ринок торгівлі цінними паперами, вимагаючи відповідного підвищення ставок за облігаціями внутрішньої та зовнішньої державних позик України, однак поки що Міністерство фінансів не планує збільшувати витрати на обслуговування боргу.

Проблеми та фактори ризику ринку торгівлі цінними паперами. Незважаючи на дієву систему державного регулювання фондового ринку, на сьогодні все ще існує ряд невирішених проблем та інших факторів, які стримують ефективний розвиток торгівлі цінними паперами в Україні (рис. 2).

Рис. 2. Фактори зниження ефективності діяльності суб'єктів ринку торгівлі цінними паперами, сформовано та розраховано автором на основі даних (Мацук, 2020; Татарин, Бундз & Кравчук, 2021; Шевченко, Петренко & Кравченко, 2021; Ярошевська, 2020; Якушева, 2021)

З огляду на сучасний стан та умови ведення підприємницької діяльності на ринку цінних паперів кожна проблема буде мати ще більший вплив на зниження ефективності функціонування як фондового ринку в цілому, так і торгівлі цінними паперами зокрема. Однак саме час важких економічних умов є, можливо, чи не найбільш доцільним для стимулювання саме високо конкурентоспроможних гравців на ринку цінних паперів, що, у свою чергу, призведе до вдосконалення всієї фінансової системи країни, а отже, і до якісно нового рівня розвитку економіки в майбутньому.

Шляхи підвищення ефективності функціонування. Весь процес торгівлі цінними паперами в Україні сьогодні перебуває під впливом багатьох як залежних, так і незалежних від органів державної влади та інших суб'єктів господарювання факторів, які, на жаль, переважно є більше негативними, ніж такими, що стимулюють ринок торгівлі цінними паперами (Тимошенко & Гудима, 2020). Так, з урахуванням переліку ризиків торгівлі цінними паперами та проблем, з яким стикаються учасники фондового ринку, пропонуємо визначити як основні такі напрями підвищення ефективності торгівлі цінними паперами, як оптимізація інформаційно-аналітичного забезпечення, більш якісне використання новітній інструментів та інтернет-технологій (рис. 3).

Рис. 3. Напрями підвищення ефективності діяльності на ринку торгівлі цінними паперами в Україні, сформовано та розраховано автором на основі даних (Танклевська & Ярмоленко, 2021; Штефан & Мацедонська, 2020; Редько & Гаркавенко, 2020; Шишков, 2021; Шендерова & Якубовський, 2021)

Як видно з рис. 3, запропоновані методи підвищення ефективності функціонування ринку торгівлі цінними паперами в Україні мають комплексний та всеохоплюючих характер. Однак вони все ще далекі від ідеалу, тому, застосовуючи їх, потрібно ввесь час враховувати, як змінюється ситуація на ринку і що потрібно торговцям цінних паперів саме в цей момент, адже в глобальному середовищі інформаційних та інтернет-технологій на вимоги ринку потрібно реагувати якнайшвидше. При цьому їх якісне та дієве застосування буде мати позитивний вплив як на суб'єктів торгівлі цінними паперами, так і на всіх інших учасників фондового ринку країни, а отже, це сприятиме прогресивному розвитку всієї економіки країни.

Висновки

У статті здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану, ризиків і перспектив торгівлі цінними паперами в Україні з урахуванням впливу всіх можливих зовнішніх і внутрішніх умов та факторів функціонування економіки країни. Визначено, що на сьогодні основний вплив на ринок торгівці цінними паперами має пряма повномасштабна військова агресія Російської Федерації, результати від якої вже відчутні для всіх учасників ринку, в тому числі і для торговців цінними паперами. Також встановлено, що попри якісно вибудовану систему державного регулювання ринку цінних паперів (основні функції виконує Національна комісія з цінних паперів та фондового ринку) все ще існує ряд суттєвих проблем і факторів, що знижують ефективність торгівлі цінними паперами (значний сектор тіньової економіки в країні, обмежена кількість інвестиційно привабливих і ліквідних фінансових інструментів, нестабільність політичної, економічної та соціальної складової розвитку держави, недостовірність інформації на фондовому ринку, низький рівень фінансової грамотності населення тощо). Обґрунтовано, що ключовими напрямами оптимізації та вдосконалення умов для високоефективної торгівлі цінними паперами можуть бути такі, як, по-перше, підвищення ефективності та якості обслуговування суб'єктів ринку цінних паперів шляхом використання новітніх інструментів та інтернет-технологій; по-друге, зростання кількості та якості послуг для всіх учасників ринку торгівлі цінними паперами, а також створення умов для забезпечення захисту прав і фінансових інвесторів від будь-яких ризиків, пов'язаних із торгівлею цінними паперами; по-третє, покращення інформаційно-аналітичного забезпечення та доступу до даних для суб'єктів фондового ринку тощо.

Література

Босак, А. О., Дойнік, Ю. В. (2021). Фондовий ринок України: перспективи розвитку і світовий досвід державного регулювання, *Науковий журнал «Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку»*, 3(2), 290—303. https://doi.org/10.23939/smeu2021.02.290.

Вінокуров, Я. (2022). Багато гривні не буває. Чому НБУ увімкнув на повну «друкарський верстат» та які будуть наслідки? *Економічна правда*. Взято з https://www.epravda.com.ua/publications/2022/06/22/688423/.

Зайцева, Л. О. (2021). Обмеженість інструментарію фондового ринку в Україні, *Інвестиції: практика та досвід*, 3, 32—38. https://doi.org/10.32702/23066814.2021.3.32.

Ільчук, В., Гавриленко, Н., Садчикова, І. (2016). Основні тенденції та перспективи розвитку світового, європейського та українського ринку IPO, *Проблеми і перспективи економіки та управління*, 2(6), 263—272. Взято з http://ppeu.stu.cn.ua/article/view/96349/91719.

Кутузова, М. М. (2014). Особливості становлення і розвитку ринку цінних паперів в Україні: історична ретроспектива, *Науковий вісник Херсонського державного університету,* 8(5),165—168. Взято з http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu_en_2014_8%285%29__40.

Лаптєв, В. Г., Білаш, А. В. (2018). Особливості розміщення корпоративних цінних паперів в Україні, *Інвестиції: практика та досвід*, 23, 55—60. https://doi.org/10.32702/2306-6814.2018.23.55.

Мацук, З. (2020). Глобальні виклики та тенденції розвитку ринку цінних паперів в Україні, *Міжнародна економічна політика*, 1(2), 153—173. https://doi.org/10.33111/iep.2020.32_33.07.

Редько, О. В., Гаркавенко, В. О. (2020). Вплив пандемії COVID-19 на стан та перспективи розвитку міжнародного фондового ринку, *ЕКОНОМІЧНИЙ ВІСНИК НТУУ «КПІ»*, 164—174. https://doi.org/10.20535/2307-5651.17.2020.216331.

Савченко, М., Луштей, К., Пльонсак, А. (2021). Інтеграція України до ринку цінних паперів Європейського Союзу, *Галицький економічний вісник*, 2(69), 168—178. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2021.02.168.

Танклевська, Н. С., Ярмоленко, В. В. (2021). Сучасний стан та проблеми функціонування фондового ринку в Україні, *Ефективна економіка*, 7. https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.7.1.

Татарин, Н. Б., Бундз, Н. Б., Кравчук, А. С. (2021). Фондовий ринок України: сучасний стан та проблеми розвитку. *Молодий вчений*, 3(91), 379—383. https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-3-91-79.

Тимошенко, О. В., Гудима, Л. О. (2020). Ефективний розвиток національного ринку цінних паперів як імператив економічного зростання України, *Бізнес-Інформ*, 3, 293—298. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-3-293-298.

Третякова, О. В., Харабара, В. М., Грешко, Р. І. (2020). Фондовий ринок України: особливості функціонування в сучасних умовах, *Економіка та держава*, 5, 103—107. https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.5.103.

Чепульченко, Т. О., Монаршука, А. О. (2020). Правове регулювання фондового ринку в Україні: проблематика та перспективи розвитку, *Право і суспільство*, 2(2), 276—282. https://doi.org/10.32842/2078-3736/2020.2-2.42.

Шевченко, А. А., Петренко, О. П., Кравченко, Ю. І. (2021). Сучасний стан функціонування фондових бірж в Україні, *Електронне наукове фахове видання з економічних наук «Modern Economics»*, 27, 6—11. https://doi.org/10.31521/modecon.V27(2021)-32.

Шендерова, А. Р., Якубовський, С. О. (2021). Динаміка фондових ринків провідних країн ЄС та України в умовах світової пандемії COVID-19, *Причорноморські економічні студії*, 72(1), 47—52. https://doi.org/10.32843/bses.72-8.

Шишков, Є. С. (2021). Дисфункціональність ринку акцій в Україні: фактор ваучерної приватизації, *Український соціум*, 3(78), 107—131. https://doi.org/10.15407/socium2021.03.107.

Штефан, Л. Б., Мацедонська, Н. В. (2020). Тенденції розвитку біржового ринку цінних паперів в Україні, *Гроші, фінанси і кредит*, 4, 338—345. https://doi.org/10.32843/infrastruct42-57.

Якушева, І. Є. (2021). Ринок облігацій в України: стан, тенденції і перспективи розвитку, *Ефективна економіка*, 4. https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.100.

Ярошевська, О. В. (2020). Похідні цінні папери в системі формування капіталу і управління ризиками суб'єктів господарювання, *Агросвіт*, 11, 75—82. https://doi.org/10.32702/2306(6792.2020.11.75.

Alzyadat, J. A., Asfoura, E. (2021). The Effect of COVID-19 Pandemic on Stock Market: An Empirical Study in Saudi Arabia, *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(5), 913—921. https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no5.0913.

Camilleri, S. J., Galea, F. (2019). The determinants of securities trading activity: evidence from four European equity markets, *Journal of Capital Markets Studies*, 3(1), 47—67. https://doi.org/10.1108/JCMS-02-2019-0007.

Chen, X., Wang, Z., Li, X., Liu, Z., Li, K. (2021). The Impact of Covid-19 on the Securities Market: Evidence from Chinese Stock and Bond Markets, *Procedia Computer Science*, 187, 294—299. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.04.065.

Davis, S. J., Liu, D., Sheng, X. S. (2022). Stock Prices and Economic Activity in the Time of Coronavirus, *IMF Economic Review*, 70, 32—67. https://doi.org/10.1057/s41308-021-00146-4.

Jeelan, B. V., Haralayya, B., Vibhute, N. S. (2021). A Study on Performance Evaluation of Initial Public Offering (IPO), *Journal of Advanced Research in Public Policy and Administration*, 3(2), 12—26. Взято з https://www.researchgate.net/publication/359471808_A_Study_on_Performance_Evaluation_of_Initial_Public_Offering_IPO.

Prędkiewicz, K., Pauka, M., Prędkiewicz, P. (2021). IPO Success of High-Technology Companies, *European Research Studies Journal*, XXVI(3B), 799—816. https://doi.org/10.35808/ersj/2539.

Singh, A. K., Mohapatra, A. K., Kalra, S. (2020). Behavior of Indian IPO Market: An Empirical Study, *The Empirical Economics Letters*, 19(2), 137—150. Взято з https://www.researchgate.net/publication/342589681_Behavior_of_Indian_IPO_ Market_An_Empirical_Study.

Zhang, X., Zhong, W., Bai, C. (2022). Risk Management Strategy in IPO Activity, *Advances in Economics, Business and Management Research*, 648, 444—450. Взято з https://download.atlantis-press.com/proceedings/icfied-22/125971914.

УДК 628.4.032+628.474.3

ESTIMATION OF POTENTIAL OF RDF PRODUCTION BASED ON FOUND TECHNOLOGICAL AND MORFOLOGICAL PROPERTIES OF MUNISIPAL SOLID WASTES OF UKRAINE

L. Haponych, O. Topal, I. Golenko
Thermal Energy Technology Institute of NAS of Ukraine
S. Kobzar
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:
Municipal solid waste
Recovered fuel
Heating value
Ultimate analysis
Waste to energy

Article history:
Received 03.05.2022
Received in revised form 19.05.2022
Accepted 13.06.22

Corresponding author:
L. Haponych
E-mail:
haponych@ukr.net

ABSTRACT

In Ukraine a significant amount of unsorted municipal solid waste (MSW) has been annually produced and accumulated. The annual amount of MSW being produced in Ukraine in recent years reaches 11.5—12.5 million tons, almost 95% of which is stored in landfills and dumps.

Meanwhile, the main goal of solid waste management should be an integrated approach in accordance with European priorities and best practices, in particular: separate collection, sorting, mechanical and biological treatment, composting/anaerobic fermentation of biodegradable solid waste fractions and RDF/SRF production from MSW fractions. The advantage of this approach is the conversion of waste into energy (WtoE) or, in particular, refused derived fuel (RDF)/solid recovered fuel (SRF), which can be accumulated, stored, transported and used in energy.

Production and use of RDF/SRF in energy sector can partially cover gap in fossil fuels in Ukraine which may arise for production of electricity and heat in compliance with EU requirements for waste management.

Features, volumes, morphological and elemental composition of municipal solid waste of Ukraine were estimated. The potential of RDF to be produced on the basis of the MSW of Ukraine in terms of cities and regions was analyzed and defined. It was found that heating value of unsorted MSW varies for regions of Ukraine within the range of 5.0—7.5 MJ/kg, for different cities of Ukraine 5.5—7.5 MJ/kg, averaged for Ukraine — 6.8 MJ/kg.

The share of useful solid waste components which can be recovered to produce RDF in Ukraine is 25—30%. It was shown that the potential for annual production of RDF in Ukraine is 2.8—3.2 million tons. The heating value of RDF made from municipal solid waste in Ukraine can be estimated as 13.1—15.9 MJ/kg, which corresponds to 3rd and 4th quality classes according to DSTU EN 15359:2018.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-6

ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВИРОБНИЦТВА RDF НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МОРФОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ УКРАЇНИ

Л. С. Гапонич, О. І. Топал, І. Л. Голенко
Інститут теплоенергетичних технологій НАН України
С. Г. Кобзар
Інститут технічної теплофізики НАН України

В Україні щорічно утворюється та накопичується значна кількість несортованих твердих побутових відходів (ТПВ). За останні роки обсяги утворення ТПВ в Україні досягли рівня 11,5—12,5 млн т щороку, з них майже 95% зберігаються на полігонах і сміттєзвалищах.

Водночас головною метою поводження з ТПВ має бути комплексний підхід відповідно до європейських пріоритетів і підходів: окреме збирання, сортування, механіко-біологічна обробка, компостування/анаеробне зброджуванні фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються, та виробництво RDF/SRF з фракцій ТПВ, що залишилися. Перевагою цього підходу є перетворення відходів в енергію (WtoE), зокрема у відновлене з відходів паливо (RDF/refused derived fuel), яке може накопичуватись, складуватись, транспортуватись і використовуватись в енергетиці за потреби.

Виробництво та використання в енергетиці RDF/SRF здатне частково задовольнити дефіцит в органічних паливах, який може виникнути в Україні, для виробництва електричної й теплової енергії з дотриманням вимог ЄС до питань управління відходами.

У статті виконано аналіз і визначені особливості, обсяги, морфологічний та елементний склад ТПВ і потенційного RDF на його основі для України в розрізі міст та областей тощо. Встановлено, що теплота згоряння необроблених (несортованих) ТПВ становить для різних областей Україні 5,0—7,5 МДж/кг, для різних міст України — 5,5—7,5 МДж/кг, осереднена для України — 6,8 МДж/кг.

Частка складових ТПВ, яку можна вилучити для виробництва RDF, в Україні складає 25—30%. Показано, що потенціал щорічного виробництва RDF в Україні складає 2,8—3,2 млн т. Діапазон теплоти згоряння RDF, виготовленого з ТПВ України, становить 13,1—15,9 МДж/кг, що відповідає 3 та 4 класам якості згідно з ДСТУ EN 15359:2018.

Ключові слова: *тверді побутові відходи, паливо з відходів, теплота згоряння, елементний склад, відходи в енергію.*

Постановка проблеми. В Україні на рівні державних рішень і міжнародних зобов'язань задекларовано наміри щодо поступового переходу від викопних видів палива до альтернативних, у т. ч. на основі відновлювальних джерел енергії,

негативний вплив на довкілля яких у результаті використання/переробки є мінімальним або нульовим. Заміщення у паливно-енергетичному комплексі (ПЕК) України викопних палив, переважно вугілля та газу, які є обмеженими під час воєнного стану і, напевне, будуть обмеженими у повоєнний час, альтернативними, є надзвичайно актуальним. Серед альтернативних палив, які у довгостроковій перспективі можуть використовуватись у ПЕК України, є палива, вилучені з твердих побутових відходів (ТПВ). При термічній переробці таких палив утворюється енергія, яка може бути використана для виробництва електроенергії й теплоти. Використання технології «Відходи в енергію» («Waste-to-Energy» або WtoE) є одним з найбільш надійних та ефективних шляхів економії органічного палива та зменшення викидів парникових газів (Гапонич, Голенко & Топал, 2019; Astrup, Moller &Fruergaard, 2009; Neuwahl, Cusano, Benavides, Holbrook & Roudier, 2019). Водночас залучення в енергетику палив на основі ТПВ має відбуватись із забезпеченням їх термічної переробки в екологічно безпечний спосіб відповідно до вимог Директиви № 2010/75/ЄС про промислові викиди, виконання якої є одним із пріоритетів України в рамках підписаної Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом (ЄС), Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами — з іншої сторони.

Зауважимо, що утворення ТПВ є і буде залишатись невід'ємною рисою життєдіяльності населення, що призводить до виведення з обігу значних територій та істотного забруднення довкілля (повітря, ґрунтів, водних ресурсів). Обсяги утворення ТПВ в Україні за останні роки сягають 11,5—12,5 млн т (60 млн м^3) (табл. 1, узагальнені дані Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України і Державної служби статистики України).

Таблиця 1. **Поводження з ТПВ в Україні у 2016—2020 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	%
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
2020	12634,9	118,7	0,9	336,5	2,6	6,2	181,3	1,4	11992,2	95,0

Майже 95%, або 11—12 млн т зібраних і необроблених ТПВ вивозять та складають на полігонах і сміттєзвалищах. Таке поводження з ТПВ призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів та цінних матеріалів, погіршення екологічної ситуації. Згідно із Законом України «Про Основні засади (Стратегію) екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.03.2019 розв'язання цієї проблеми є ключовим завданням у вирішенні питань енерго- та ресурсонезалежності держави, економії природних матеріальних та енергетичних ресурсів. Закон передбачає зменшення до 35% обсягу складування відходів на полігонах у 2030 році.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сортування ТПВ не в змозі вирішити завдання повної утилізації відходів. Відокремлена частина ТПВ, що містить органічну складову, має використовуватись для виробництва електричної й теплової енергії в екологічно безпечній спосіб. У світі поширені дві типові технології для відокремлення висококалорійних складових відходів, які можна використовувати для створення Refuse Derived Fuel/Solid Recovered Fuel (RDF/SRF) — механіко-біологічне оброблення (МБО) відходів з отриманням RDF/SRF палив та/або біогазу та суха стабілізація (Гелетуха, Жовмір, Олійник & Радченко, 2011; Budihardjo, 2022; Haponych, Golenko & Topal, 2019; Neuwahl, Cusano, Benavides, Holbrook & Roudier, 2019; Saveyn та ін., 2016). МБО відходів об'єднує механічні, такі як роздільне збирання, сортування за допомогою сит, барабанів, магнітів тощо, змішування, сушіння, подрібнення, пресування, гранулювання, та біологічні методи. Такі сировинні складові, як папір, скло, пластик і метал ідуть на переробку. Складові ТПВ, що біологічно розкладаються, можуть бути відправлені на компостування й анаеробне зброджування. Всі інші складові ТПВ, а це складає близько третини, є сировиною для твердого відновленого палива — RDF/SRF.

При застосуванні технології сухої стабілізації відходи без інертів та металів піддаються біологічної обробці — ефективно підсушуються до значень вологості менше 15% і стабілізуються за допомогою процесу компостування. При цьому утворюється паливо з високою теплотою згоряння.

Термін «refuse» в англомовних країнах використовується для визначення твердих побутових і комерційних або промислових відходів. Термін RDF, зазвичай, відноситься до відокремленої висококалорійної складової ТПВ, що включає полімери, папір, картон, деревину й текстиль. Тобто RDF — це органічне паливо, яке отримується після видалення вторинної сировини та негорючих матеріалів із ТПВ. Що стосується SRF, то це паливо, отримане з безпечних відходів, в тому числі твердих побутових та промислових відходів, які можуть бути використані для виробництва енергії в установках спалювання або спільного спалювання з вугіллям. Отримане паливо може піддаватися додатковій обробці для збільшення теплоти згоряння. SRF має відповідати вимогам класифікації та специфікації, які були розроблені Технічним комітетом CEN/TC 343 «Solid Recovered Fuels» та викладені у європейському стандарті EN 15359:2011 «Solid recovered fuels — Specifications and classes». Згідно з цим стандартом обов'язкові для визначення властивості SRF включають форму і розмір частинок, нижчу робочу теплоту згоряння, вміст вологи, золи, хлору і важких металів, зазначених у Директиві № 2010/75/ЄС. Також обов'язково вказується клас і походження SRF. SRF може використовуватися лише установками, що відповідають граничним значенням викидів, встановленим Директивою № 2010/75/ЄС. Схема класифікації SRF використовує три основні параметри: теплоту згоряння (економічну інформацію), концентрацію Cl (технічну інформацію) і Hg (екологічну інформація) (табл. 2). Стандарт EN 15359:2011 прийнятий в Україні методом підтвердження на мові оригіналу (англійській) — «Тверде відновлювальне паливо. Технічні характеристики та класи (EN 15359:2011, IDT)».

Таблиця 2. **Класифікація SRF згідно з ДСТУ EN 15359:2018**

Класифікаційний параметр	Статистична міра	Одиниці вимірювання	Класи				
			1	2	3	4	5
Теплота згоряння	Середнє значення	МДж/кг	≥25,0	≥20,0	≥15,0	≥10,0	≥3,0
Хлор (Cl)	Середнє значення	% (на суху масу, *d*)	≤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

Залежно від складу ТПВ і технології виробництва може бути отримано RDF/SRF з різною теплотою згоряння (3—25 МДж/кг) та виду — у вигляді порошку або гранул різного розміру й густини. Кількість RDF/SRF, що виробляється з ТПВ, може змінюватись від 25 до 55% (по масі) залежно від країни, типу збирання, методів обробки та вимог до якості (Neuwahl, Cusano, Benavides, Holbrook & Roudier, 2019). Перевагами цього підходу до переробки ТПВ є те, що відходи перетворюються на енергетичну товарну продукцію, яку можна накопичувати, складувати, транспортувати.

Світова практика показує, що RDF/SRF утилізується на заводах WtoE (при спільному спалюванні з вугіллям, при виробництві цементу) та на ТЕС і ТЕЦ (як комунальних, так і промислових) (Mutz, Hengevoss, Hugi & Gross, 2017). Виробництво і споживання RDF/SRF у світі щорічно збільшується (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018; Themelis, Barriga, Estevez & Velasco, 2013). У США працює 12 заводів WtoE з добовою потужністю від 360 до 3000 т RDF. Ці заводи щорічно споживають близько 6 млн т RDF, що складає 20% потужності США. Серед країн ЄС використання RDF/SRF найбільш розвинуто в Німеччині, Італії, Австрії, Великій Британії. У Німеччині у 2005 р. було вироблено 1,8 млн т, у 2006 р. — 2,4 млн т, а у 2009 р. — 7,2 млн т RDF/SRF, причому 68% з них було спалено на заводах WtoE: 45% — за технологією спалювання на решітці, 23% — за технологією киплячого шару (Weber, Quicker, & Hanewinkel, 2020). У Польщі щорічно виробляється близько 4 млн т RDF. В Італії у 2019 р. було спожито 5,7 млн т RDF, 0,7 млн т SRF 3 класу та 0,6 млн т SRF 4 класу (табл. 3) (Cernuschi, та ін., 2020). Усього в країнах ЄС у 2017 р. було спожито близько 17,5 млн т RDF/SRF. Щорічний попит на RDF/SRF в Європі складає 53—63 млн т. В країнах ЄС на заводах WtoE споживаються RDF/SRF з теплотою згоряння 6,4—17,0 МДж/кг, при цьому середнє значення теплоти згоряння складає 10,3 МДж/кг.

Найбільшу ефективність відновлення енергії досягають ті установки WtoE, які виробляють теплову енергію. За результатами аналізу техніко-економічних показників роботи 314 установок WtoE в країнах ЄС встановлено, що середні витрати RDF/SRF (в одиницях умовного палива — у. п.) на виробництво 1 кВт·год. енергії на установках, які виробляють теплоту, становлять 435 г у. п./кВт·год., при сумісному виробництві теплової та електроенергії — 647 г у. п./кВт·год., при виробництві електроенергії — 1424 г у. п./кВт·год. (Reimann, 2012). 90% теплоти, яке споживає населення в Копенгагені, отримується за

рахунок спалювання RDF або відсортованих ТПВ, 85% — у Вільнюсі, 80% — у Стокгольмі, 60% — у Парижі.

Виробництво та використання в енергетиці RDF/SRF здатне частково замінити дефіцитні в Україні органічні палива. Водночас термічна утилізація відходів, яка відбувається без урахування особливостей їх морфологічного та елементного складу, може призводити до утворення вкрай небезпечних для людини сполук, таких як поліхлоровані вуглеводні або діоксини та фурани, гранично допустимі концентрації яких становлять пікограми (Neuwahl, Cusano, Benavides, Holbrook & Roudier, 2019). Крім того, в останні роки збільшилася кількість досліджень, присвячених розробці технологій спільного спалювання RDF/SRF з іншими паливами, в тому числі з природним газом і вугіллям (Кобзар, Топал, Гапонич & Голенко, 2020; Boavida, Abelha, Gulyurtlu & Cabrita, 2003; Lin, Ma, 2012; Rada, Cioca & Lonescu, 2017). Такі роботи щодо українського RDF також потребують інформації з його теплоти згоряння та складу, тому **метою дослідження** є оцінка потенціалу виробництва RDF на основі визначених технологічних і морфологічних властивостей ТПВ України.

Матеріали і методи. Ключовими характеристиками відходів є морфологічний, хімічний, фракційний склад і теплота згоряння. Ці характеристики ТПВ не є постійними, вони залежать від країни, регіону, міста чи селища їх утворення, сезону утворення. ТПВ — це механічна суміш різних за походженням і характеристиками компонентів, тому її склад є випадковим, оскільки до ТПВ можуть потрапляти різноманітні предмети та матеріали, але, разом з тим, він є прогнозованим за основними компонентами.

Морфологічний склад ТПВ — це структура його складових, яка виражена в процентах за масою. Міністерством з питань житлово-комунального господарства України затверджено Методичні рекомендації з визначення морфологічного складу ТПВ (Наказ № 39 від 16.02.2020 р.). Згідно з цим документом морфологічний склад ТПВ рекомендується визначати за такою класифікацією: харчові відходи (овочі, фрукти, відходи садівництва тощо); папір і картон; полімери (пластик, пластмаси); скло; чорні та кольорові метали; текстиль; деревина; шкіра, гума; небезпечні відходи (батарейки, сухі та електролітичні акумулятори, тара від розчинників, фарб, ртутні лампи, телевізійні кінескопи тощо); кістки, залишок ТПВ після вилучення компонентів (дрібне будівельне сміття, каміння, вуличний змет тощо).

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 згоряння на робочий склад палива Q_i^r, МДж/кг, для ТПВ та їх компонентів розраховується за формулою Менделєєва:

$$Q_i^r = 4{,}18(81\mathrm{C}^r + 300\mathrm{H}^r - 26(\mathrm{O}^r - \mathrm{S}^r) - 6(9\mathrm{H}^r + \mathrm{W}^r)\cdot 10^{(-3)}.$$

Викладення основних результатів дослідження. На рис. 1 показано усереднений морфологічний склад ТПВ різних областей України та України в цілому. В Україні частка ТПВ, що накопичується у великих містах, є переважною. Тільки у м. Києві у 2019 р. зібрано 13% загальної кількості ТПВ України. На рис. 2 показано усереднений морфологічний склад ТПВ різних міст України.

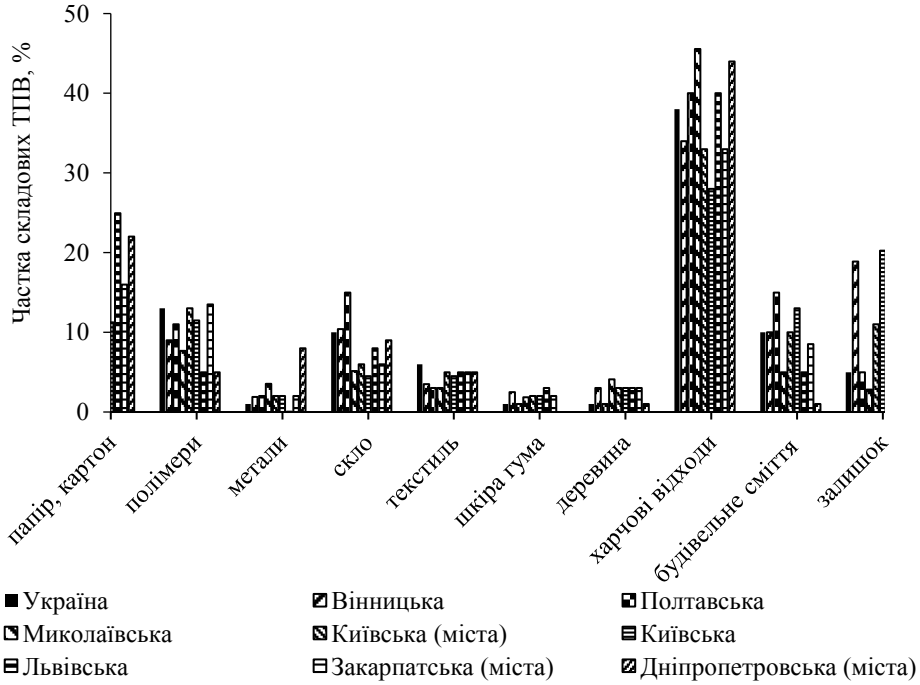


Рис. 1. Усереднений морфологічний склад ТПВ різних областей України та України в цілому, згрупований для складових ТПВ

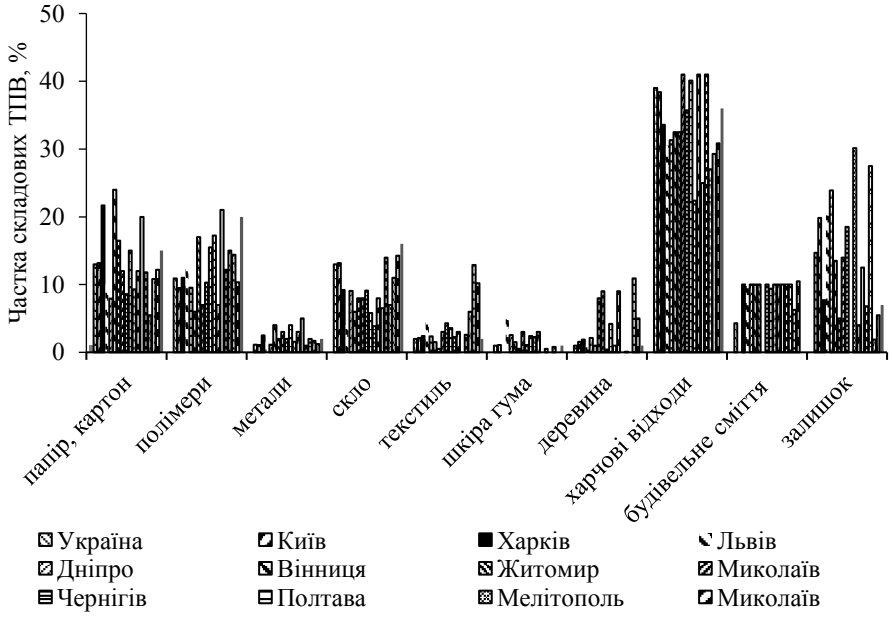


Рис. 2. Усереднений морфологічний склад ТПВ різних міст України та України в цілому, згрупований для складових ТПВ

Встановлено, що усереднений морфологічний склад ТПВ Україні такий: харчові відходи — 38%, папір і картон — 15%, полімери (пластмаса, ПЕТФ пляшки, полімерна плівка, ТетраПак упаковка) — 13%, скло — 10%, чорні та кольорові метали — 1 %, текстиль — 6%, деревина — 1%, шкіра, гума — 1%, будівельне сміття — 5%, інші відходи (вуличний зміт, листя, гігієнічні засоби, кістки, комбіновані відходи, небезпечні відходи тощо) — 10%. Для великих міст України середній морфологічний склад ТПВ такий: харчові відходи — від 30 до 45%, папір та картон — від 5 до 24%, полімери — від 8 до 20%, скло — від 4 до 16%, чорні та кольорові метали від 0,5 до 5%, текстиль від 2 до 13%, деревина від 0,1 до 4%, шкіра, гума від 0,5 до 5%; дрібні будівельні відходи — від 0,3 до 3,5%; вуличний зміт, 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 30%.

Фракційний склад ТПВ — це частка відходів певного розміру. Вміст різних фракцій коливається і суттєво залежить від країни, сезону, кліматичної зони тощо. Близько 2% від загальної маси ТПВ складають фракції розміром більше 350 мм (Каратєєва, Коваль & Гроза, 2018). Це великогабаритні відходи, зокрема побутова техніка, меблі, куски будівельних конструкцій. Близько 90% ТПВ має фракції менше 250 мм, 85% — менше 150 мм, менше 10% — 250—350 мм, 2% — фракції розміром більше 350 мм. Для ТПВ м. Київ спостерігається близький розподіл по фракціях: 88% ТПВ має фракції до 250 мм, 84% — до 150 мм, 10% — 250—350 мм, 2% — фракції розміром більше 350 мм (Шекель, 2011).

Хімічний склад ТПВ. У табл. 3, 4 наведено елементний склад, вихід летких і теплоту згоряння змішаних ТПВ для різних областей та міст та України в цілому. Для порівняння в табл. 4 наведено інформацію про елементний склад, вихід летких і теплоту згоряння змішаних ТПВ міст Європи, Канади, США та Японії (Cernuschi, та ін., 2020; Neuwahl, Cusano, Benavides, Holbrook & Roudier, 2019; Saveyn та ін., 2016; Themelis, Barriga, Estevez & Velasco, 2013). Елементний склад і вихід летких ТПВ (V^d, % на суху масу) розраховано за їх морфологічним складом (рис. 1, 2) та елементним складом компонентів ТПВ (Гапонич, Голенко & Топал, 2020; Komilis, Evangelou, Giannakis & Lymperis, 2012). Нижча теплота згоряння Q_i^r розрахована за формулою.

Таблиця 3. **Елементний склад, вихід летких і теплота згоряння ТПВ різних областей України та України в цілому**

Область України	Елементний склад на робочу масу (r), %							V^d, %	Q_i^r, МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	N^r	S^r	A^r	W^r		
Вінницька	19,6	2,7	12,2	0,6	0,1	29,7	35,1	48,8	7,2
Дніпропетровська									
міста	19,4	2,7	16,4	0,7	0,1	22,9	37,8	56,6	6,6
села	18,3	2,6	15,7	0,4	0,1	47,1	15,8	41,4	6,8
Закарпатська	21,2	3,0	17,6	0,6	0,1	25,0	32,5	51,5	7,5
Київська (міста)	20,8	2,9	17,2	0,6	0,1	25,6	32,8	55,2	7,4
Київська	19,5	2,7	16,3	0,5	0,1	28,6	32,3	51,5	6,8
Миколаївська	21,2	2,9	17,2	0,6	0,2	19,0	38,9	58,6	7,4
Полтавська	14,6	2,1	11,7	0,6	0,1	37,2	33,7	45,9	5,0
Україна	19,5	2,7	16,2	0,7	0,1	27,3	33,5	54,7	6,8

Таблиця 4. **Осереднений елементний склад, вихід летких і теплота згоряння ТПВ різних міст України (наші розрахунки), Європи, Японії, Канади та США (для порівняння)**

Місто	Елементний склад на робочу масу (r), %							V^d, %	Q_i^r, МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	N^r	S^r	A^r	W^r		
Для міст України									
Вінниця	19,7	2,8	17,1	0,4	0,2	27,0	32.8	53,4	6,8
Дніпро	17,6	2,5	14,4	0,5	0,1	29,7	35,2	49,2	6,1
Житомир	20,1	2,8	18,2	0,4	0,1	26,8	31,6	55,9	7,0
Київ	18,6	2,6	16,1	0,5	0,1	23,1	39	54,9	6,3
Миколаїв	19,5	2,7	14,5	0,6	0,2	26,0	36,5	53,3	6,9
Мелітополь	19,7	2,8	17,6	0,4	0,1	27,7	31,7	52,3	6,9
Полтава	20,7	2,9	16,6	0,6	0,2	25,0	34,0	56,9	7,4
Рівне	19,8	2,9	17,7	0,5	0,1	25,7	33,3	56,9	6,8
Суми	16,4	2,3	14,1	0,5	0,1	31,2	35,4	47,9	5,5
Харків	19,2	2,7	17,6	0,5	0,1	28,1	31,8	54,2	6,5
Хмільник	19,5	2,8	19,2	0,3	0,1	30,5	26,7	54,2	6,7
Хмельницький	19,6	2,7	16	0,8	0,1	31,2	29,6	51,3	6,9
Черкаси	17,6	2,5	16	0,5	0,1	30	33,3	38,2	5,9
Чернігів	17,1	2,4	14,4	0,6	0,1	29,5	35,9	50,3	5,8
Для порівняння									
Амстердам (Королівство Нідерландів)	22,2	1,5	8,3	0,2	0,3	43,3	24,2	н/д	7,6
Берн (Швейцарія)	21,4	2,3	15,9	0,3	0,2	31,0	28,9	н/д	7,2
Брюссель (Бельгія)	22,1	1,5	8,8	0,3	0,3	40,3	26,7	н/д	7,5
Вашингтон (США)	24,7	3,1	19,0	0,4	0,1	27,6	25,1	55,5	8,9
Лондон (Велика Британія)	21,0	2,0	12,3	0,3	0,2	38,7	25,5	н/д	7,2
Оттава (Канада)	25,6	3,2	18,1	0,4	0,1	25,5	27,1	57,8	9,3
Париж (Франція)	24,2	3,0	19,0	0,3	0,1	28,2	25,2	н/д	8,6
Токіо (Японія)	21,5	2,3	12,5	0,6	0,2	25,2	37,7	н/д	7,4
Гельсінкі (Фінляндія)	26,3	3,4	23,4	0,2	0,1	22,0	24,6	н/д	9,2

Теплота згоряння необроблених (несортованих) ТПВ становить для різних областей Україні 5,0—7,5 МДж/кг, для різних міст України 5,5—7,5 МДж/кг, осереднені для України — 6,8 МДж/кг. Для порівняння, теплота згоряння ТПВ країн ЄС становить 6,5—15 МДж/кг, Японії — 7,4 МДж/кг, а Канади та США — 9,0—9,3 МДж/кг. Теплота згоряння полімерних складових може коливатися в межах 17—40 МДж/кг (Cernuschi, та ін., 2020). Елементний склад та теплота згоряння деяких полімерних складових наведено в табл. 5.

Таблиця 5. **Характеристика деяких полімерних складових ТПВ**

Речовина	Елементний склад, %					Q_i^r, МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	N^r	Cl^r	
1	2	3	4	5	6	7
Поліакриламід	47,40	4,92	15,25	14,43	—	19,3

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7
Полівінілацетат	45,76	5,74	30,50	—	—	17,9
Полівінілхлорид	31,73	4,02	—	—	46,25	14,7
Ізопреновий каучук	52,23	7,95	11,64	10,17	—	24,4
Поліпропілен	70,27	11,73	—	—	—	35,7
Полістирол	76,10	5,90	—	—	—	31,7
Поліетилен	70,27	11,73	—	—	—	35,7
Поліетилентерефталат	51,25	3,44	27,31	—	—	17,8
Поліаміди	31,90	4,84	7,05	6,23	—	14,8

Окрім елементів, наведених в табл. 2—6, змішані ТПВ містять важкі метали та шкідливі речовини. ТПВ Німеччини містять (на суху масу, *d*): F^d = 0,01—0,035%, Cl^d = 0,1—1,0%, Pb^d = 100—2000 мг/кг, Cd^d = 1—15 мг/кг, Cu^d = 200—700 мг/кг, Zn^d = 400—1400 мг/кг, Hg^d = 1—5 мг/кг, Tl^d < 0,1 мг/кг, Mn^d = 250 мг/кг, V^d = 4—11 мг/кг, Ni^d = 30—50 мг/кг, Co^d = 3—10 мг/кг, As^d = 2—5 мг/кг, Cr^d = 40—200 мг/кг, Se^d = 0,21—15 мг/кг, ПХБ (поліхлоровані дифеніли) = 0,2—0,4 мг/кг, ПХДД/ПХДФ (поліхлоровані дибензодіоксини/ поліхлоровані дибензофурани) = 50—250 нгДЕ/кг (ДЕ — діоксиновий еквівалент у системі міжнародних коефіцієнтів токсичності, синонім I–TEQ) (Neuwahl, Cusano, Benavides, Holbrook & Roudier, 2019). Українські ТПВ містять: $As^d \leq$ 6 мг/кг, $Pb^d \leq$ 3000 мг/кг, $Cd^d \leq$ 50 мг/кг, $Cr^d \leq$ 2810 мг/кг, $Cu^d \leq$ 1000 мг/кг, $Mn^d \leq$ 200 мг/кг, $Ni^d \leq$ 189 мг/кг, $Hg^d \leq$ 15 мг/кг, $Zn^d \leq$ 4000 мг/кг (Петрук, Васильківський, Іщенко & Петрук, 2013).

В Україні кадмій Cd, Hg, Tl та їх сполуки за наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 № 309 «Про затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» відносяться до I класу небезпеки. Ртуть — одна з найбільш небезпечних токсичних речовин. Вона є глобальним забруднювачем навколишнього середовища. Основними джерелами надходження ртуті з ТПВ є ртутні лампи, термометри, інші прилади, що містять ртуть, та елементи живлення (Wilson & Symon, 2019). Надходження ртуті, що міститься як домішка в різних матеріалах, які є складовими ТПВ, потенційно може бути істотним, але важко оцінюється, головним чином, через відсутність даних з вихідного вмісту ртуті у відходах.

Визначення типових особливостей морфологічного та елементного складу RDF/SFR з урахуванням особливостей його формування в Україні. На рис. 3 та 4 для різних регіонів та міст України показано кількісний показник частки ТПВ придатних для виробництва RDF — відокремленої висококалорійної фракції перероблених ТПВ, яка включає полімери, папір, картон, деревину та текстиль. Кількісний показник таких залишків для різних регіонів України складає 23,0—42,0% від загальної кількості ТПВ. В середньому для України частка складових ТПВ придатних для RDF складає 28%.

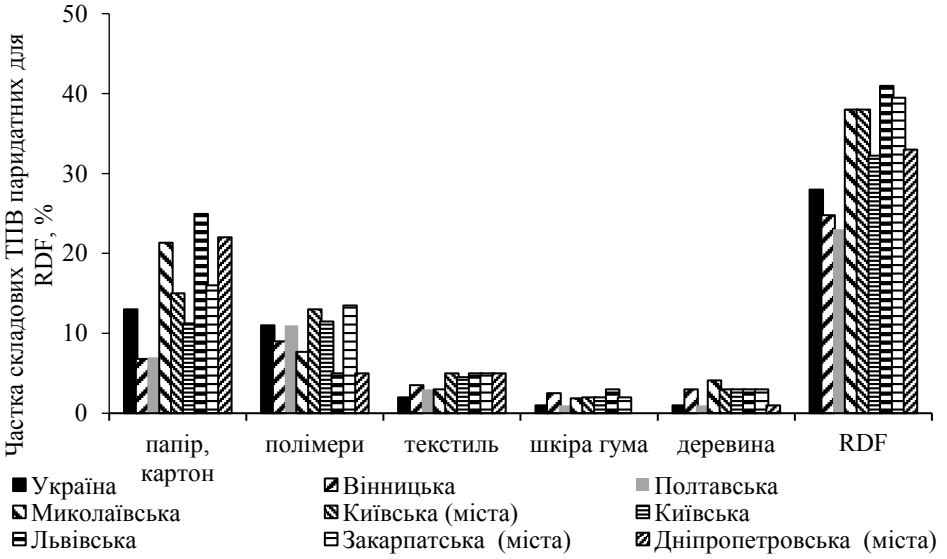


Рис. 3. Частки складових ТПВ придатних для RDF для різних областей України

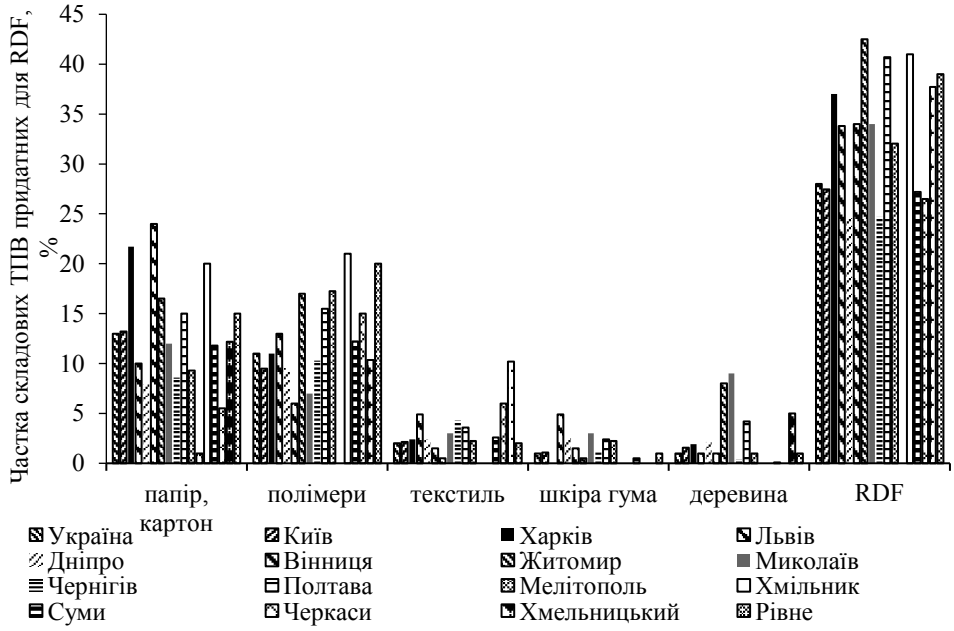


Рис. 4. Частки складових ТПВ придатних для RDF для різних міст України

Треба зазначити, що в останні роки на пункти вторинної сировини та сміттєпереробні підприємства потрапляє 3,4—3,7% від загальної кількості зібраних ТПВ (табл. 3), з них близько 80% (у середньому 2,8% загальної кількості ТПВ)

припадає на папір, картон, деревину, полімери. З урахуванням цього частка складових ТПВ, яку можна вилучити для виробництва DF в Україні, складає 25—26% (табл. 6). У табл. 7 наведено можливий морфологічний склад DF, виготовленого з ТПВ України.

Таблиця 6. **Потенціал виробництва RDF в Україні для 2016—2020 рр.**

Рік	Обсяги збирання	Пункти вторинної сировини		Сміттєпереробні підприємства		Частка складових придатних для виробництва RDF		Потенціал виробництва RDF	
	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	%	тис. т	%	тис. т
2016	11562,6	1,1	126,6	1,2	143,8	28,0	3237,5	26,2	3029,4
2017	11271,2	1,3	146,2	2,3	259,9	28,0	3155,9	25,1	2829,1
2018	11857,2	1,2	146,5	2,2	260,1	28,0	3320,0	25,3	3000,0
2019	11459,4	1,1	128,6	2,6	303,3	28,0	3208,6	25,0	2864,9
2020	12634.9	0,9	118,7	2,6	336,5	28,0	3537,8	25,2	3184,0

Потенціал виробництва RDF в Україні складає 2,8—3,2 млн тонн. Можливий морфологічний склад RDF для різних областей, міст та України в цілому показано на рис. 5 та 6.

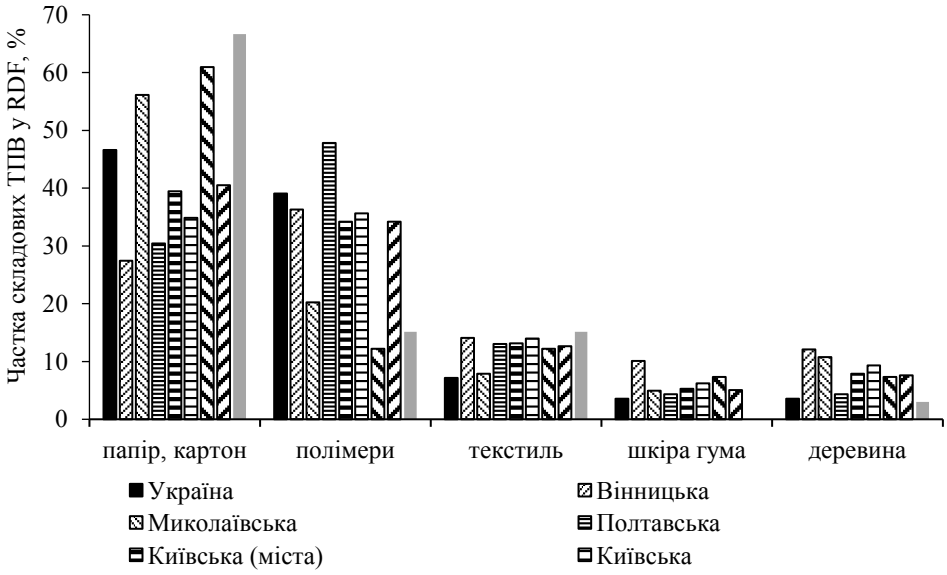


Рис. 5. Можливий морфологічний склад RDF для різних областей та України в цілому

У табл. 8 та 9 наведено елементний склад, вихід летких і теплоту згоряння RDF для різних областей та міст та України в цілому. Елементний склад і вихід летких RDF розраховано за їх морфологічним складом (рис. 5 та 6, табл. 8) та елементним складом компонентів ТПВ (Гапонич, Голенко & Топал, 2020; Komilis, Evangelou, Giannakis & Lymperis, 2012).

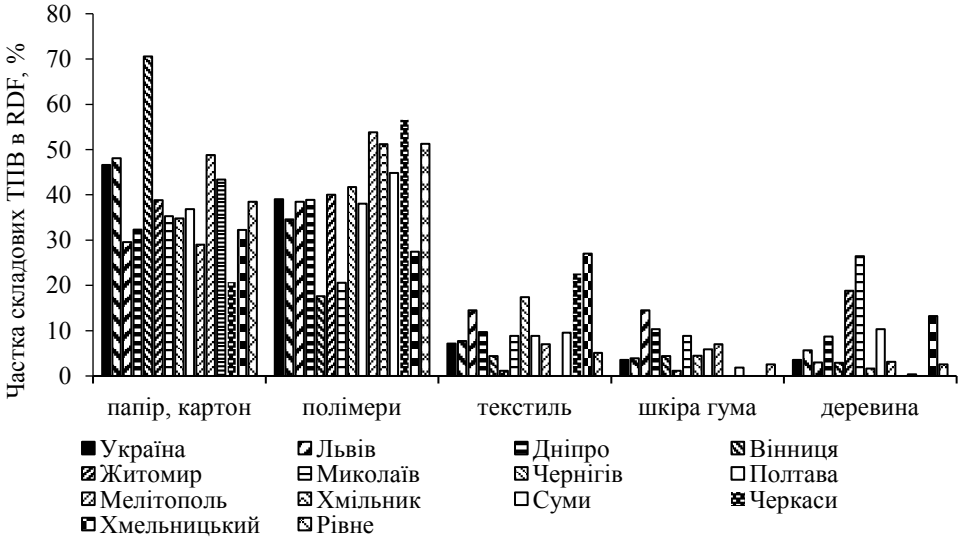


Рис. 6. Можливий морфологічний склад RDF для різних міст та України в цілому

Таблиця 7. **Можливий морфологічний склад RDF для України**

Складова RDF	Діапазон, %	Середнє значення, %
Папір, картон та інша макулатура	25,0—67,0	47,0
Полімери, в тому числі пластик, поліетилен, поліпропілен, синтетичні волокна, багатошарова упаковка та т. п.	18,0—57,0	39,0
Шкіра, шкірозамінники, шкіряні та гумові вироби	1,5—14,5	3,5
Текстиль різних типів	1,5—27,0	7,0
Деревина та похідні від неї	2,0—12,0	3,5

Таблиця 8. **Елементний склад, вихід летких і теплота згоряння RDF, виготовленого з ТПВ різних областей України та України в цілому** (власні розрахунки)

Область України	Елементний склад на робочу масу (r), %							V^{d}, %	Q_i^r, МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	N^r	S^r	A^r	W^r		
Вінницька	40,4	5,6	30,6	0,7	0,3	10,2	12,2	74,0	15,9
Дніпропетровська міста села	39,1 37,2	5,3 5,3	36,4 31,2	0,8 0,7	0,2 0,3	7,0 14,0	11,2 11,3	78,0 75,6	14,5 14,5
Закарпатська	38,9	5,4	33,2	0,7	0,2	9,9	11,7	76,0	14,8
Київська (міста)	39	5,4	33,1	0,7	0,3	9,8	11,7	75,9	14,9
Київська	39,2	5,5	32,4	0,7	0,3	10,0	11,9	75,5	15,1
Миколаївська	39,4	5,4	34,2	0,5	0,2	7,8	12,5	76,0	14,9
Полтавська	37,7	5,3	33,2	0,7	0,2	11,9	11,0	76,6	14,4
Україна	37,6	5,3	34,6	0,4	0,2	10,9	11,0	77,2	14,1

Таблиця 9. **Елементний склад, вихід летких та теплота згоряння RDF виготовленого з ТПВ різних міст України (власні розрахунки)**

Місто	Елементний склад на робочу масу (*r*), %							V^d, %	Q_i^r, МДж/кг
	C^r	H^r	O^r	N^r	S^r	A^r	W^r		
Вінниця	39,3	5,4	35,7	0,4	0,2	7,9	11,1	77,1	14,7
Дніпро	40,0	5,6	31,2	0,5	0,4	10,8	11,5	74,5	15,7
Житомир	35,5	5,0	34,6	0,2	0,2	10,4	14,1	76,5	13,1
Запоріжжя	39,0	5,3	33,5	1,2	0,1	7,9	13,0	74,9	14,8
Київ	38,1	5,3	34,4	0,5	0,2	10,1	11,4	76,8	14,3
Миколаїв	40,3	5,5	30,9	0,5	0,3	7,3	15,2	73,0	15,6
Мелітополь	37,5	5,4	32,6	0,4	0,3	13,2	10,6	76,2	14,5
Полтава	38,4	5,4	32,9	0,5	0,2	10,5	12,1	75,7	14,7
Рівне	36	5,2	34,7	0,4	0,2	12,7	10,8	77,7	13,5
Суми	36,9	5,2	35,1	0,5	0,2	11,7	10,4	78,0	13,8
Харків	37,0	5,1	36,4	0,4	0,2	9,3	78,1	11,6	13,6
Хмільник	34,7	5,0	36,5	0,2	0,2	12,9	79,0	10,5	12,7
Хмельницький	39,0	5,3	33,5	1,2	0,1	7,9	13,0	76,3	14,7
Черкаси	5,2	33,9	33,9	1,0	0,2	12,9	10,2	77,9	13,8
Чернігів	38,8	5,4	33,2	0,8	0,2	11,0	10,5	76,7	14,8

Окрім елементів, наведених у табл. 8 і 9, RDF містить важкі метали та шкідливі речовини. Типовий вміст у RDF цих величин (на робочу масу, *r*) такий: хлор $Cl^r \leq 0{,}8\%$, свинець $Pb^r = 130$—300 мг/кг, $Cd^r = 4$—9 мг/кг, $Cu^r = 235$—500 мг/кг, ртуть $Hg^r = 0{,}6$—$1{,}2$ мг/кг, талій $Tl^r = 1$—2 мг/кг, марганець $Mn^r = 150$—300 мг/кг, $V^r = 10$—25 мг/кг, $Ni^r = 50$—100 мг/кг, $Co^r = 8$—12 мг/кг, миш'як $As^r = 5$—13 мг/кг, $Cr^r = 85$—140 мг/кг, $Sb^r = 50$—150 мг/кг, $Sn^r = 35$—70 мг/кг.

Діапазон теплоти згоряння RDF, виготовленого з ТПВ України, складає 13,1—15,9 МДж/кг. Це відповідає 3 та 4 класам SRF згідно з ДСТУ EN 15359:2018 (див. табл. 4). Для збільшення теплоти згоряння RDF можна додавати горючі фракції промислових і комерційних відходів.

Наші розрахунки показують, що в Україні є потенціал для щорічного виробництва 2,8—3,2 млн т RDF з теплотою згоряння 13—16 МДж/кг, або 1,3—1,6 млн т у. п. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1900—500 млн кВт·год. теплової та електричної енергії, або 2800—3800 млн кВт·год. теплової енергії. Потенціал заміщення природного газу при цьому 1,0—1,3 млрд $м^3$, вугілля — 1,6—2,2 млн т.

Висновки

1. Щорічні обсяги утворення ТПВ в Україні за останні роки сягають 11,5—12,5 млн т, з яких вивозять і складають на полігонах та сміттєзвалищах 11—12 млн т. Таке поводження з відходами призводить до щорічної втрати значної кількості енергоресурсів та цінних матеріалів, погіршення екологічної ситуації.

2. Показано, що основна тенденція в управлінні ТПВ має базуватись на комплексному підході — окремому збиранні, сортуванні, компостуванні/анаеробному зброджуванні фракцій ТПВ, що біологічно розкладаються, та виробництві RDF/SRF з фракцій ТПВ, що залишилися. Перевагою цього підходу є перетворення відходів на енергетичну товарну продукцію.

3. Виробництво та використання в енергетиці RDF/SRF здатне частково замістити дефіцитні в Україні органічні палива при виробництві електричної та теплової енергії з дотриманням вимог ЄС до питань управління відходами.

4. Виконано аналіз та визначено особливості, обсяги, морфологічний та елементний склад ТПВ і потенційного RDF на його основі для України в розрізі міст та областей тощо. Показано, що теплота згоряння необроблених (несортованих) ТПВ становить для різних областей Україні 5,0—7,5 МДж/кг, для різних міст України 5,5—7,5 МДж/кг, осереднена для України — 6,8 МДж/кг.

5. Частка складових ТПВ, яку можна вилучити для виробництва RDF в Україні, складає 25—30%. Показано, що потенціал щорічного виробництва RDF в Україні складає 2,8—3,2 млн т. Визначено, що діапазон теплоти згоряння RDF, виготовленого з ТПВ України, складає 13,1—15,9 МДж/кг, що відповідає 3 та 4 класам якості згідно з ДСТУ EN 15359:2018. При залученні цих палив в енергетику можна отримати щорічно близько 1900—2500 млн кВт·год. теплової та електричної енергії, або 2800—3800 млн кВт·год. теплової енергії. Потенціал заміщення природного газу при цьому 1,0—1,3 млрд м^3, вугілля — 1,6—2,2 млн тонн.

Література

Гапонич, Л. С., Голенко, І. Л., Топал, О. І. (2019). Нормативне регулювання, сучасний стан поводження та перспективи енергетичного використання твердих побутових відходів в Україні. *Проблеми загальної енергетики*, (58), 45—54. https://doi.org/10.15407/pge2019.03.045.

Гапонич, Л. С., Голенко, І. Л., Топал, О. І. (2020). Перспективи використання SRF та RDF на цементних заводах України. *Екологічні науки*, (30), 92—97. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.15.

Гелетуха, Г. Г., Жовмір, М. М., Олійник, Є. М., Радченко, С. В. (2011). Біомаса як паливна сировина. *Промышленная теплотехника*, (33), 76—84. Взято з http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60379.

Каратєєва, О. І., Коваль, О. А., Гроза, В. І. (2018). *Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства.* Миколаїв: МНАУ. Взято з http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/4379.

Кобзар, С. Г., Топал, О. І., Гапонич, Л. С., Голенко, І. Л. (2020). Моделювання процесу сумісного спалювання природного газу з паливами із твердих побутових відходів. *Електронне моделювання,* (42). 74—92. https://doi.org/10.15407/emodel.42.06.072.

Петрук, В. Г., Васильківський, І. В., Іщенко, В. А., Петрук Р. В. (2013). *Управління та поводження з відходами. Частина 3. Полігони твердих побутових відходів*. Вінниця: ВНТУ. Взято з https://www.researchgate.net/publication/276830967_Upravlinna_ta_povodzenna_z_vidhodami_C3_Poligoni_tverdih_pobutovih_vidhodiv.

Шекель О. Й. *Схема санітарного очищення м. Києва. ТОМ 2 «Технологічна частина поводження з відходами»*. (2011). Київ: ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства». Взято з http://golos.kievcity.gov.ua/files/2014/6/19/TOM-2.pdf.

Astrup, T., Moller, J., Fruergaard, T. (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, (27), 789—799. https://doi.org/10.1177/0734242X09343774.

Boavida, D., Abelha, P., Gulyurtlu, I., Cabrita I. (2003). Co-combustion of coal and nonrecyclable paper and plastic waste in a fluidized bed reactor. *Fuel*, (82), 1931—1938. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00151-0.

Budihardjo, M. A., Yohana, E., Ramadan, B. S., Puspita, A. S., Adhana, S. N., Rizkiana, J. N. (2022). Study of Potential Refuse Derived Fuels as Renewable Alternative Energy from a Jatibarang Landfill. *Polish Journal of Environmental Studies.* https://doi.org/10.15244/pjoes/145614.

Haponych, L., Golenko, I., Topal, A. (2019). *Current status of municipal solid waste management in Ukraine*, Proceedings of 2nd International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering»: June 24-28th, Lviv, Ukraine. Lviv: Lviv Polytechnic National University. https://doi.org/10.23939/cte2019.01.291.

Kaza, S., Yao L., Bhada-Tata, P. & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series.* Washington: DC: World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0. Взято з https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-1-4648-1329-0.

Komilis, D., Evangelou, A., Giannakis, G., Lymperis, C. (2012). Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management,* (32), 372—381. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.034.

Lin, H., Ma, X. (2012). Simulation of co-incineration of sewage sludge with municipal solid waste in a grate furnace incinerator. *Waste Management,* (32), 561—567. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.032.

Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C., & Gross, T. (2017). *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management. A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries*. Eschborn: GIZ GmbH. Взято з https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf.

Neuwahl, F., Cusano, G., Benavides, J. G., Holbrook, S. & Roudier, S. (2019). *Best Available Techniques (BAT). Reference Document for Waste Incineration.* Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2760/761437. Взято з https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118637.

Rada, E. C., Cioca, L.-I., Lonescu, G. (2017). *Energy recovery from Municipal Solid Waste in EU: proposals to assess the management performance under a circular economy perspective.* MATEC Web of Conferences 121, 05006. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712105006.

Reimann, D. O. (2012). *CEWEP Energy Report III (Status 2007–2010). Results of Specific Data for Energy, R1 Plant Efficiency Factor and NCV of 314 European Waste-to-Energy (WtE) Plants.* Germany: Confederation of European Waste to Energy Plants (CEWEP). Взято з https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/10/1069_13_01_15_cewep_energy_report_iii.pdf.

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. https://data.europa.eu/doi/10.2791/870953.

Wilson, S., Symon, C. (2019). *Technical Background Report for the Global Mercury Assessment, 2018*. AMAP/UN Environment. Взято з https://www.amap.no/documents/doc/technical-background-report-for-the-global-mercury-assessment-2018/1815.

Themelis, N., Barriga, M., Estevez, P., & Velasco, M. (2013). *Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and the Caribbean.* WTE Guidebook, EEC/IDB, Earth Engineering Center, Columbia University. Взято з https://gwcouncil.org/wte-guidebook-for-latin-america-and-the-caribbean/.

Weber, K., Quicker, P., Hanewinkel, J. (2020). Status of waste-to-energy in Germany, Part I — Waste treatment facilities. *Waste Management & Research*, (38), 23—44. https://doi.org/10.1177/0734242X19894632.

Stefano Cernuschi, S., Grosso, M., Viganò, F., Zanetti, M., Panepinto, D., Ragazzi, M. & Lombardi, F. (2020). *White Paper on Municipal Waste Management.* Milano: Utilitalia. Взято з https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2021/03/WHITE-PAPER-DEFINITIVO-2-24-febbraio-2021.pdf.

УДК 621.165:621.14

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF NOMINAL THERMAL AND ELECTRIC POWER OF ELECTRIC TURBINE UNITS BASED ON BACKPRESSURE STEAM TURBINE

V. Filonenko
National University of Food Technologies

Key words:
Cogeneration
Electric turbine unit
Backpressure steam turbine
Heat consumption
Electricity consumption
Fuel economy
Electricity purchase

Article history:
Received 06.05.2022
Received in revised form 20.05.2022
Accepted 15.06.2022

Corresponding author:
V. Filonenko
E-mail:
ipren@ukr.net

ABSTRACT

The study is devoted to the formation of conditions to avoid financial losses from the implementation of technical solutions which reduce heat consumption of an industrial enterprise, which is supplied from a turbine unit based on a steam turbine with backpressure. The object of research is a cogeneration unit based on a turbine unit with a steam turbine with backpressure. It produces heat and electricity by cogeneration method, implementing a steam cycle with the maximum possible thermal efficiency, and generating electricity with the lowest cost.

These turbines are used to create CHPs of industrial enterprises, such as sugar, distilleries, chemical and oil refining enterprises.

The peculiarity of the use of such turbines is the perception of the balance of the relationship between the generated turbine heat and electricity. This perception is that the company forms a similar relationship between the consumption of heat and electricity — the so-called mutual balance of generation and consumption of energy resources.

The consequence of the existence of this balance is the reduction of electric power of the turbine unit in the case of reducing the consumption of steam (thermal energy) and the need to purchase a certain amount of electricity from the district power system (DPS).

In case of certain ratios of prices for fuel and electricity and energy performance of steam generators and steam turbines, the implementation of energy-saving technical solutions in the heat use system of the enterprise leads to their financial loss. As a result of the study it was found that the considered cogeneration system, having unquestionable energy efficiency, ie, reducing fuel consumption, in case of problems can avoid financial losses in case of cheaper fuels or work to reduce electricity consumption.

According to the results of the study, the corresponding mathematical dependences are proposed. The methodology of determining the nominal power of the turbine unit is formed in the work, which guarantees the observance of the condition of financial efficiency of the turbine unit operation.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ НОМІНАЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТУРБОАГРЕГАТІВ НА БАЗІ ПАРОВИХ ТУРБІН З ПРОТИТИСКОМ

В. М. Філоненко
Національний університет харчових технологій

Дослідження присвячено формуванню умов уникнення фінансової збитковості від реалізації технічних рішень, що передбачають зменшення теплоспоживання промислового підприємства, енергозабезпечення якого здійснюється від турбоагрегату на базі парової турбіни з протитиском.

Об'єктом дослідження обрано когенераційну установку на базі турбоагрегату з паровою турбіною з протитиском, що в когенераційний спосіб виробляє теплову й електричну енергію, реалізуючи паросиловий цикл з максимально можливим термічним ККД і генеруючи електроенергію з найнижчою собівартістю.

Вказані турбоагрегати застосовуються для створення ТЕЦ промислових підприємств, таких як цукрові, спиртові заводи, підприємства хімічної та нафтопереробної промисловості.

Особливістю використання таких турбоагрегатів є сприйняття підприємством балансового взаємозв'язку між генерованою турбоагрегатом тепловою і електричною енергією. Означене сприйняття полягає в тому, що у підприємства формується аналогічний взаємозв'язок між споживанням теплової й електричної енергії — так звана взаємна збалансованість генерації і споживання енергоресурсів.

Наслідком існування означеної збалансованості є зменшення електричної потужності турбоагрегату при зменшенні споживання підприємством пари (теплової енергії) і необхідності закупівлі певного обсягу електричної енергії від районної енергосистеми (РЕС).

У разі певних співвідношень цін на паливо й електричну енергію та енергетичних показників парогенераторів і парових турбін реалізація енергоощадних технічних рішень у системі тепловикористання підприємства призводить до їх фінансової збитковості.

У результаті дослідження встановлено, що розглянута когенераційна система, маючи беззаперечну енергетичну ефективність, тобто забезпечуючи зниження витрати палива, при виникненні проблеми може уникнути фінансової збитковості у разі використання дешевших палив або реалізації робіт зі зменшення електроспоживання підприємства. За результатами дослідження запропоновано відповідні математичні залежності.

Сформовано методологію визначення номінальної потужності, що гарантує дотримання умови фінансової ефективності експлуатації турбоагрегату.

Ключові слова: *когенерація, турбоагрегат, парова турбіна з протитиском, теплоспоживання, електроспоживання, економія палива, закупівля електроенергії.*

Постановка проблеми. Підвищення виробничої потужності промислових підприємств України та удосконалення їх систем енергопостачання розглядають як магістральні напрями розвитку промисловості.

Збереження в системі енергопостачання промислових підприємств саме когенераційної генерації теплової і електричної енергії є їх запорукою енергетичної незалежності та фінансової ефективності. Однак у сучасних умовах ціноутворення на паливно-енергетичні ресурси формувалася тенденція до неухильного росту цін як на паливо, так і на електричну енергію.

Практично вся цукрова промисловість України оснащена системами когенераційної генерації електричної і теплової енергії турбоагрегатами, сформованими на базі парових турбін з протитиском. Стратегія розвитку цих підприємств — досягнення виробничих потужностей європейського рівня і, відповідно, збільшення потужностей енергопостачання (Данько, 2012).

За умови сучасного ринкового співвідношення цін на паливо й електроенергію когенераційний метод вироблення енергоресурсів набуває фінансової збитковості. Заводська собівартість електричної енергії власної генерації, отриманої від спалювання природного газу, незважаючи на реалізацію найвищого термодинамічного ККД циклу, стає суттєво дорожчою за електричну енергію на енергоринку.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Когенераційна генерація теплової і електричної енергії останні роки зберігала свою актуальність, що відображено як в дисертаційних дослідженнях (Казарова, 2017), так і в публікаціях вітчизняних (Андреев та ін., 2016) та зарубіжних авторів (Aklilu & Gilani, 2010; Mashoko, Mbohwa & Thomas, 2013; Çakir, Çomakli & Yüksel, 2012; Андреев та ін., 2016).

Застосування турбоагрегатів на базі парових турбін у структурі енергетичних установок теж залишається актуальним технічним рішенням і на сьогодні (Маляренко, Темнохуд, Сенецкий & Петров, 2013; Aklilu & Gilani, 2010; Pasquariello, 2020; Gülen, 2021).

Енергетична привабливість турбоагрегатів з протитисковими турбінами полягає в реалізації найефективнішого, з термодинамічним ККД у 100% теплофікаційного паросилового циклу та найнижчою, до 170 г у.п/(кВт·год), питомою витратою умовного палива на відпущену електричну енергію і найнижчу її заводську собівартість.

Експлуатація означених турбоагрегатів характеризується наявністю балансового взаємозв'язку між генерованою тепловою — $Q_{\text{ТА}}$ та генерованою електричною енергією — $W_{\text{ТА}}$, які пов'язані між собою відповідними рівняннями (Філоненко, 2009).

Наявність такого взаємозв'язку породжує специфічні вимоги до визначення номінальної електричної потужності турбоагрегату і його типорозміру. Ці вимоги не передбачені чинними технічними умовами щодо експлуатації паротурбінних установок теплових електростанцій (ГКД 34.20.507-2003, 2019), які визначають тільки вимоги до їх надійності, комплектації, безпеки, стабільності експлуатації.

У разі реалізації на підприємстві, що використовує для свого енергозабезпечення означені турбоагрегати, технічних рішень зі зменшення свого теплоспожи-

вання виникає ситуація, за якою або вироблена турбоагрегатом електрична енергія, або вироблена теплова енергія «диктуватимуть» пропуск гострої пари через проточну частину турбіни, тобто «диктуватимуть» співвідношення між $W_{\text{ТА}}$ і $Q_{\text{ТА}}$.

Такий «диктат» породжує вихлоп частини (від 2% до 10%) відпрацьованої пари турбіни і відповідну втрату теплової енергії в атмосферу, що призводить до втрати зекономленої теплової енергії і, відповідно, палива та зниження енергетичної й економічної ефективності підприємства.

«Вихлопна» частина електроенергії генерується турбоагрегатом у рамках циклу У. Ренкіна, з низьким (до 22%), термічним ККД, унаслідок чого має собівартість у 3,5 раза вищу за собівартість «протитискової» електроенергії, яка генерується в теплофікаційному циклі. Вибір належного типорозміру турбоагрегату має враховувати цю обставину і забезпечувати уникнення експлуатаційних і фінансових проблем під час його експлуатації.

До фінансових проблем відноситься перспектива втрати фінансової переваги від когенераційого вироблення теплової та електричної енергії у разі несприятливого співвідношення закупівельних цін на паливо та електричну енергію для джерела енергопостачання.

Взаємодія означених турбоагрегатів із системами тепло- і електроспоживання підприємств, що їх використовують, визначається балансовим рівнянням (Філоненко 2009):

$$\left(+/-\right)W_{\text{ТА}} = \underbrace{\left[\frac{q_{\text{техн}} \cdot K_q^{\text{ТА}} \cdot A_{n.n} \cdot 1000 \cdot 4,2}{24 \cdot (h_{\text{техн}} - \beta_{\text{конд}} \cdot h_{\text{конд}}) \cdot d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot \gamma_{\text{ОУ}}}\right]}_{W^q} - \underbrace{\left[\frac{e_{\text{техн}} \cdot K_e^{\text{ТА}} \cdot A_{n.n} \cdot K_{\text{вл.}n}^{\text{ТА}}}{24}\right]}_{W^e}. \quad (1)$$

Наведене рівняння формує режим експлуатації турбоагрегату — або за «тепловим», або «електричним» графіком.

Перша складова рівняння (3) — W^q, кВт, є електричною потужністю ТГ, продиктованою (обумовленою) рівнем теплоспоживання підприємства, друга складова — W^e, кВт, є електричною потужністю, продиктованою електроспоживанням промислового підприємства.

Цей баланс може бути як позитивним, за умови вироблення турбоагрегатом електроенергії на тепловому споживанні більше, ніж існує потреба підприємства відповідно свого питомого електроспоживання — $e_{\text{техн}}$, так і від'ємним, за умови перевищення потреби підприємства в електроенергії над можливістю турбоагрегату виробити електроенергію за рівнем теплоспоживання — $q_{\text{техн}}$.

Експлуатаційні параметри $A_{\text{п.п.}}$, $q_{\text{техн}}$, $e_{\text{техн}}$, $d_{\circ}^{\text{ТА}}$ тощо є незалежними один від одного і обумовлюються рівнем розвитку й удосконалення систем тепло- та електроспоживання підприємства.

Удосконалення системи теплоспоживання виробництва з метою економії палива і фінансових затрат на його придбання передбачає зменшення параметра $q_{\text{техн}}$, але за умови уникнення вихлопу частки відпрацьованої пари в атмосферу (Філоненко, 2009). Для уникнення вихлопу необхідно зменшити електричне навантаження турбоагрегату, зменшивши витрату гострої пари на турбіну і витрату палива на її генерацію, й отримати недовироблену електричну потужність від районної енергосистеми (РЕС).

Реалізація вказаного технічного рішення, суттєво зменшуючи фінансові витрати на закупівлю палива для вироблення теплової енергії, передбачає закупівлю у РЕС певний обсяг електроенергії, потужністю — $W_{\text{РЕС}}$, кВт, за ринковою ціною — $C_{\text{е.є}}^{\text{РЕС}}$, грн/(кВт·год), що породжує фінансові витрати на закупівлю електроенергії.

Технічні умови вирішення проблеми вихлопу сформовані в (Філоненко, 2009). Зокрема, для підприємств цукрової галузі запропоновано формули для визначення мінімально-допустимого питомого споживання теплової енергії промисловим виробництвом — $q_{\text{гран}}^{\text{мін}}$, Мкал/(т бур) і максимально-допустимого питомого споживання електроенергії — $e_{\text{гран}}^{\text{макс}}$, кВт·год/ (т бур):

$$q_{\text{гран}}^{\text{мін}} = 0,521 \cdot \frac{e_{\text{техн}}^{\text{факт}} \cdot d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot (1 + J_{\text{ОУ}})}{1 - K_{\text{вл.}n}^{\text{ТА}} - K_{\text{решт}}^{\text{ТА}}}; \tag{2}$$

$$e_{\text{гран}}^{\text{макс}} = 1,92 \cdot \frac{q_{\text{техн}}^{\text{факт}} \cdot \left(1 - K_{\text{вл.}n}^{\text{ТА}} - K_{\text{решт}}^{\text{ТА}}\right)}{d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot (1 + J_{\text{ОУ}})}. \tag{3}$$

Наведені формули засвідчують, що за умови знаходження фактичних заводських параметрів питомого тепло- та електро- споживання в межах граничнодопустимих, тобто за умов $q_{\text{техн}}^{\text{факт}} > q_{\text{гран}}^{\text{мін}}$ та $e_{\text{техн}}^{\text{факт}} < e_{\text{гран}}^{\text{макс}}$, турбоагрегати на базі парових турбін з протитиском не будуть створювати ні проблем з виникненням вихлопу турбіни, ні фінансових проблем із закупівлею недостатнього обсягу електроенергії.

Однак, як засвідчує розвиток підприємств, їх системи теплоспоживання безперервно удосконалюються, зменшуючи параметр $q_{\text{техн}}^{\text{факт}}$, і водночас підвищується їх енергоємність, тобто зростає параметр $e_{\text{техн}}^{\text{факт}}$. Таким чином, виникає технічна передумова виникнення вихлопу частини відпрацьованої пари в атмосферу.

Наведені обставини обумовлюють необхідність формування належної номінальної потужності турбоагрегатів, тобто їх типорозмірів, яка б ураховувала максимальну кількість експлуатаційних факторів і не створювала б ні технічних, ні фінансових проблем.

Експлуатація турбоагрегату з вихлопом не призводить до зменшення витрати палива і є неприпустимою, оскільки зекономлена теплова енергія в системі теплоспоживання підприємства в еквівалентній кількості втрачається в атмосферу з вихлопною парою.

Уникнути вихлопу і зберегти паливний та економічний ефект від удосконалення теплової схеми дає змогу комбінація двох технічних рішень:

- зменшення обсягу генерації електричної енергії турбоагрегатом;
- закупівлі еквівалентного обсягу електричної енергії від РЕС.

За відсутності на підприємстві умов, що обумовлюють вихлоп, зменшувати теплоспоживання підприємства можна, не звертаючи увагу на співвідношення цін на паливо та електричну енергію, фінансовий ефект — гарантовано.

Але за умови існування таких умов зменшення теплоспоживання підприємства має обмеження, яке визначається чотирма параметрами:

- вартістю палива;
- вартістю електроенергії від РЕС;
- питомою паропродуктивністю парогенераторів;
- питомою витратою гострої пари в турбоагрегаті.

Мета дослідження: створення науково-технічної основи встановлення типорозміру турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском для реалізації когенераційної системи енергопостачання промислового підприємства з урахуванням максимальної кількості факторів, що визначають енергетичну і фінансову ефективність їх експлуатації та відповідають виробничим параметрам тепло- та електроспоживання промислового підприємства.

Матеріали та методи. У статті використані:

- матеріали власних експериментальних досліджень турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском;
- заводські параметри і характеристики парогенераторів, парових турбін і турбогенераторів;
- методи визначення питомих показників тепло- та електроспоживання промислових підприємств;
- метод теплового розрахунку систем теплоспоживання промислових підприємств;
- метод енергетичного розрахунку джерела когенераційної генерації теплової та електричної енергії із застосуванням турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском;
- метод визначення заводської собівартості виробленої та відпущеної електричної енергії від джерела енергопостачання.

Результати і обговорення. Формуванню методики визначення належного типорозміру турбоагрегату має передувати розгляд всіх параметрів, які не створять під час експлуатації технічних і фінансових проблем перед підприємством, що буде отримувати вироблену ним теплову та електричну енергію.

Турбоагрегати на базі парових турбін з протитиском застосовуються промисловими підприємствами, що мають потребу в тепловій та електричній енергії як джерелі когенераційного вироблення теплової й електричної енергії.

Технічною умовою застосування таких турбоагрегатів є наявність ідентичності співвідношення потреби в тепло- та електроенергії підприємства можливостям їх генерації турбоагрегатами.

Особливістю таких турбоагрегатів є те, що теплової енергії — Q, кВт, вони генерують значно більше, ніж е/е — W, кВт. Аналіз існуючих на енергоринку турбогрегатів засвідчив, що частка виробленої турбоагрегатами теплової енергії залежить від параметрів гострої пари і становить від 80% до 92% від енергії, що надійшла до парової турбіни у вигляді гострої пари, а частка електричної енергії — від 6% до 20% (рис. 1).

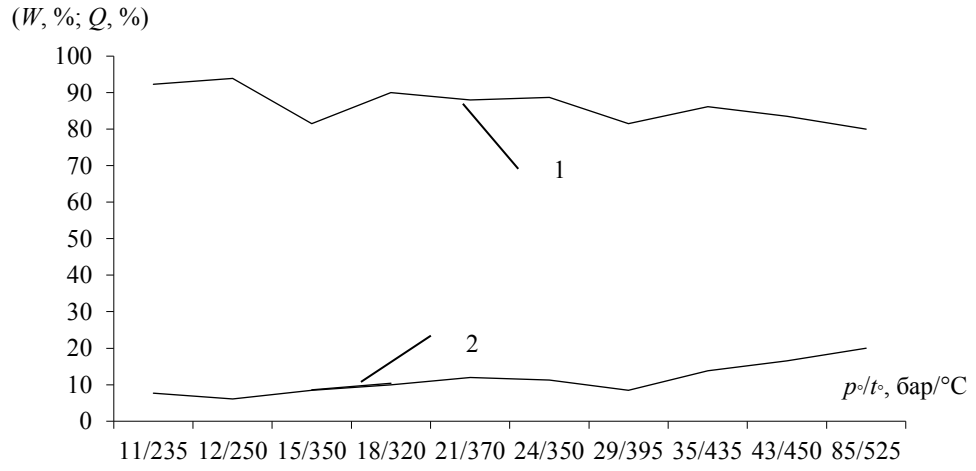


Рис. 1. Обсяги генерації теплової та електричної енергії від турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском залежно від параметрів *p*◦/*t*◦, бар/°С гострої пари:
1 — теплова енергія (*Q*, %); 2 — електрична енергія (*W*, %)

У сучасних умовах ринкового ціноутворення на паливо та електричну енергію електроенергія, вироблена в паросилових турбоустановках, що реалізують найбільш досконалий термодинамічний цикл (суто теплофікаційний цикл), має заводську собівартість, яка залежно від вартості палива суттєво перевищує вартість покупної електроенергії від РЕС.

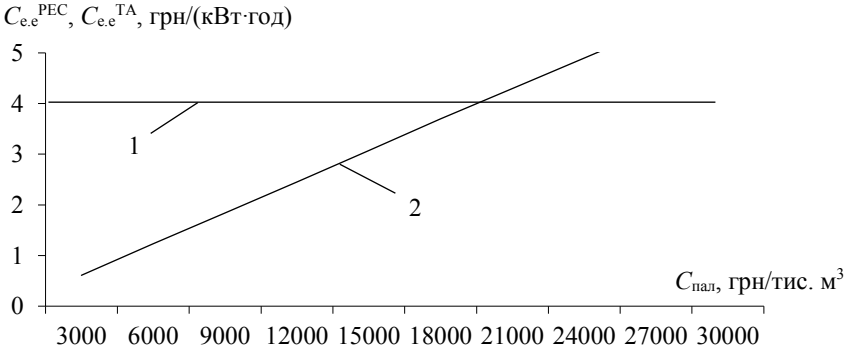


Рис. 2. Вартість електричної енергії залежно від вартості палива — природного газу:
1 — покупна електрична енергія від РЕС; 2 — електрична енергія від турбоагрегату на базі парової турбіни з протитиском

Станом на 2022 р. сучасне співвідношення собівартості електричної енергії від турбоагрегатів на базі протитискових парових турбін для різної ціни палива — природного газу і ринкової вартості електроенергії від РЕС ілюструє рис. 2. Наведена інформація засвідчує, що вже ціною природного газу, вищою за 1800 грн/тис. м^3, електроенергія власної генерації стає дорожчою за електро-

енергію від РЕС. Тобто для збереження існування турбоагрегатів і системи когенераційного енергозабезпечення підприємства потрібно шукати дешеві палива, для яких добуток ціни 1 тонни (тис. м^3) палива величину, обернену до $K_{\text{у.п}}^{\text{пал}}$ ($C_{\text{пал}}$/ /$K_{\text{у.п}}^{\text{пал}}$) становить 5500—8500 грн.

Наприклад, у разі використання деревинних пелет ($K_{\text{у.п}}^{\text{пал}}$ = 0,58) за ціною 3200 грн/т заводська собівартість виробленої турбоагрегатом електроенергії становитиме — 2,66 грн/(кВт·год), що нижче за покупну вартість електроенергії від РЕС — 4,0 грн/(кВт·год).

Можлива реалізація апробованого технічного рішення для отримання біогазу (Епштейн, 2018).

Вибір типорозміру турбоагрегату для когенераційної системи енергопостачання підприємства залежить від значної кількості факторів (Філоненко & Почко, 2018), зокрема економічна ефективність його експлуатації.

Економічна (фінансова) ефективність експлуатації турбоагрегату полягає в тому, що в разі перенесення частини його електричного навантаження на покупну електроенергію від РЕС перед підприємством відкривається можливість зменшення споживання пари і, відповідно, зменшення споживання палива, що витрачається на енергозабезпечення підприємства.

Результатом є зменшення витрати коштів на закупівлю палива, але збільшення витрат на закупівлю електричної енергії від РЕС.

Відповідне рівняння, що враховує обидва фактори, має вигляд (Філоненко, 2009):

$$\left(+/-\right)\Delta S = B_1^{\text{ТЕЦ}} \cdot C_{\text{пал}} - \left(B_2^{\text{ТЕЦ}} \cdot C_{\text{пал}} + 24 \cdot \Delta W^{\text{РЕС}} \cdot C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}\right), \qquad (4)$$

де: (+) ΔS, (–)ΔS — відповідно, добова економія та перевитрата коштів на закупівлю енергоресурсів, палива і електроенергії, грн/добу;

B_1, B_2 — добова витрата палива в разі експлуатації турбогенераторів, відповідно, без отримання та з отриманням електроенергії від РЕС, тис. м^3/добу;

$C_{\text{пал}}$ — закупівельна (з ПДВ) ціна палива, грн/(тис. м^3);

$\Delta W_{\text{РЕС}}$ — потужність електроенергії, отриманої від РЕС, кВт;

$C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$ — вартість (з ПДВ) покупної електроенергії від РЕС, грн/(кВт·год);

24 — співвідношення год/добу.

З теплоенергетичного балансу парогенератора отримано рівняння, що визначає зміну витрати палива — ΔB, тис. м^3/год, залежно від зміни його парового навантаження — $\Delta D^{\text{ПГ}}$, т/год:

$$\Delta B^{\text{ПГ}} = \Delta D^{\text{ПГ}} / d_{\circ}^{\text{ПГ}}, \qquad (5)$$

де: $\Delta B^{\text{ПГ}}$ — годинне зменшення витрати палива (природного газу), тис. м^3/год;

$d_{\circ}^{\text{ПГ}}$ — питома генерація гострої пари в парогенераторах, т пари/тис. м^3 газу.

З теплоенергетичного балансу турбоагрегату отримано рівняння, що визначає зменшення витрати гострої пари на турбоагрегат — $\Delta D^{\text{ТА}}$, т/год, залежно від зменшення його електричного навантаження, еквівалентного потужності електроенергії, отриманої від РЕС — $\Delta W_{\text{РЕС}}$:

$$\Delta D^{\text{ТА}} = \Delta W_{\text{РЕС}} \cdot d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot 10^{-3}, \qquad (6)$$

де: $\Delta D^{\text{ТА}}$ — годинне зменшення витрати гострої пари на турбоагрегат унаслідок зменшення електричного навантаження, т/год;

$\Delta W_{\text{РЕС}}$ — потужність електроенергії, отриманої від РЕС, кВт;

$d_{\circ}^{\text{ТА}}$ — питома витрата гострої пари на вироблення однієї кВт·год електроенергії турбоагрегатом, кг/(кВт·год);

10^{-3} — коефіцієнт, що корелює одиниці виміру витрати пари, кг/т.

Оскільки $\Delta D^{\text{ПГ}} = \Delta D^{\text{ТА}}$ за логікою електричної енергії, то застосування наведених формул у рівнянні (6) суттєво спрощує його, зводячи до рівняння, яке не передбачає паливно-енергетичного розрахунку ТЕЦ і визначення витрат палива B_1 і B_2:

$$\left(+/-\right)\Delta S = 24 \cdot \Delta W_{\text{РЕС}} \cdot [C_{\text{пал}} \cdot (d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot 10^{-3} / d_{\circ}^{\text{ПГ}}) - C_{\text{е/е}}^{\text{РЕС}}]. \qquad (7)$$

Графічна інтерпретація залежності (7) для $d_{\circ}^{\text{ПГ}}$ = 10,7 кг пари/ м^3 газу та $d_{\circ}^{\text{ТА}}$ = 8,6 кг пари/(кВт·год) наведена на рис. 3. За ординату графічної залежності використано вартість палива, приведену до вартості електроенергії від РЕС — $C_{\text{пал}}$*, грн/(кВт·год):

$$C_{\text{пал}}^{*} = C_{\text{пал}} \cdot (d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot 10^{-3} / d_{\circ}^{\text{ПГ}}). \qquad (8)$$

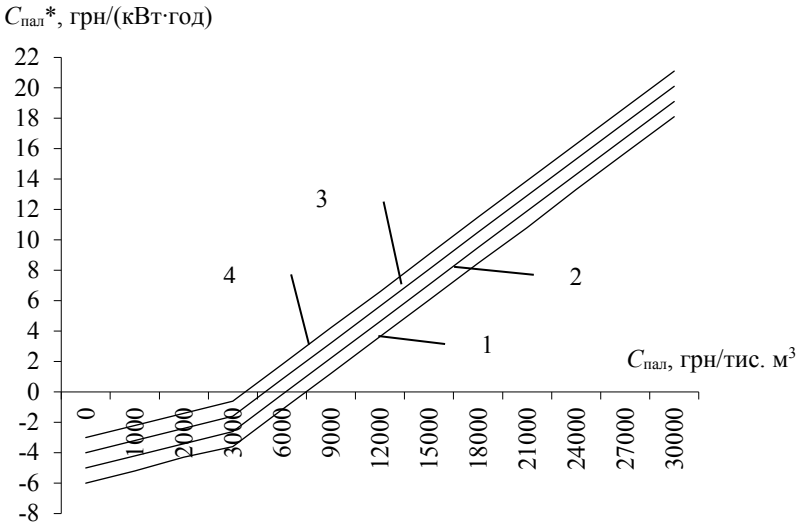


Рис. 3. Графічна залежність $C_{\text{пал}}^{*} = f(C_{\text{пал}}, C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}})$. $C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$, грн/(кВт·год):
1 — 3,0; 2 — 4,0; 3 — 5,0; 4 — 6,0

Від'ємне значення ординати означає, що в разі низької вартості палива зменшення його витрати шляхом реалізації технічних рішень зі зменшення теплоспоживання підприємства і закупівлі електроенергії від РЕС стає фінансово збитковим.

За такого співвідношення цін на паливо та електроенергію має бути змінено пріоритет в енергозбереженні — набуває актуальності зниження електро-, а не теплоспоживання підприємства з метою ліквідації фінансового основи проблеми — вихлопу і необхідності закупівлі електроенергії від РЕС. Тобто за умови дешевого палива для підприємства, що має систему енергопостачання на базі власної ТЕЦ, економити теплову енергію і, відповідно, паливо — економічно не вигідно, оскільки зниження витрат коштів на закупівлю палива не покриває їх збільшення на закупівлю дорогої електроенергії.

За цих умов потрібно економити електричну енергію, зменшуючи питоме електроспоживання виробництва — $e_{\text{техн}}$, до рівня, яке взагалі ліквідує утворення

вихлопу і ліквідує потребу в закупівлі електроенергії від РЕС. Умовою зміни пріоритету є така ціна палива, що його економія не перекриває вартість закупленої в РЕС електроенергії, і яка визначається нерівністю — $C_{пал} < C_{пал}^*$.

Тобто у разі ціни палива, меншої за визначену за формулою (8), зменшення витрати палива призведе до збитковості існуючої системи енергопостачання підприємства, тому потрібно працювати над зниженням його електроспоживання.

А за умови ціни палива, вищої за визначену за формулою (8), зменшення витрати палива, незважаючи на високу вартість закупівлі електроенергії від РЕС, буде фінансово вигідним.

На визначення типорозміру турбоагрегату має вплив рівень відхилення від номінальних параметрів гострої пари і відпрацьованої пари, а також ступінь його електричного навантаження.

Дослідження А. Стодоли і Г. Флюгеля засвідчують, що в разі відхилення експлуатаційних параметрів парових турбін — тиску ($p_\circ$), температури ($t_\circ$) гострої пари і тиску відпрацьованої пари ($p_п$) від їх номінальних значень, зменшується реальна пропускна здатність їх проточних частин ($D_\circ^{експл}$) відносно номінальних значень ($D_\circ^{ном}$) Графічна інтерпретація відповідних залежностей наведена на рис. 4, 5, 6, 7, 8.

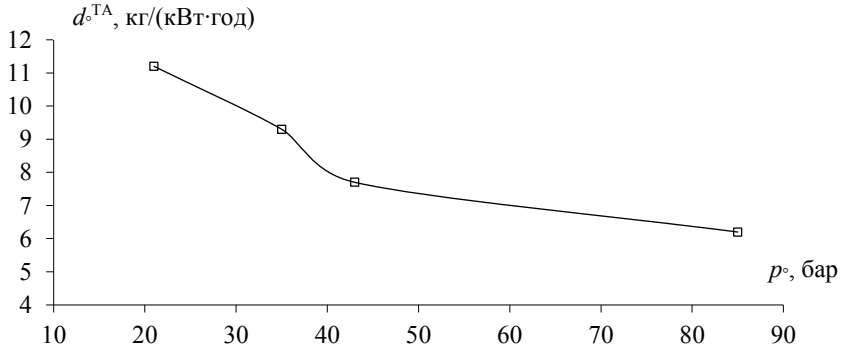


Рис. 4. Залежність питомої витрати гострої пари на турбоагрегат — $d_\circ^{ТГ}$ від тиску гострої пари — $p_\circ$

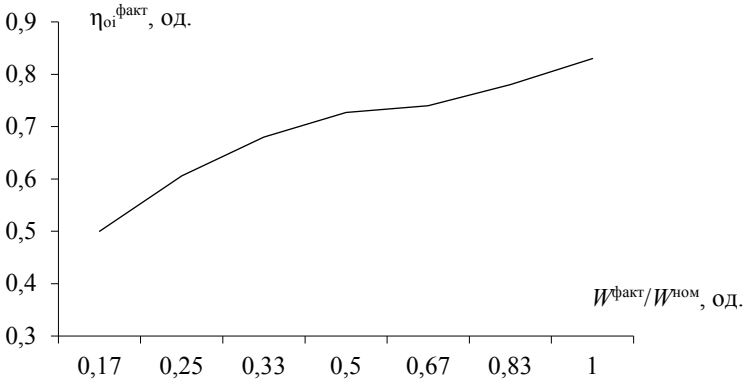


Рис. 5. Вплив ступеня завантаження турбоагрегату — $W^{факт}/W^{ном}$ на експлуатаційний ККД парової турбіни — $\eta_{oi}^{факт}$

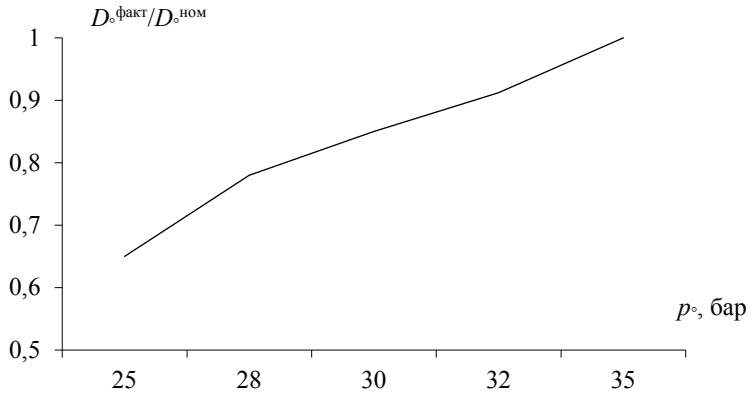


Рис. 6. Вплив тиску гострої пари на вході в парову турбіну — $p_{\circ}$, на пропускну здатність проточної частини парової турбіни — $D_{\circ}^{факт}/D_{\circ}^{ном}$

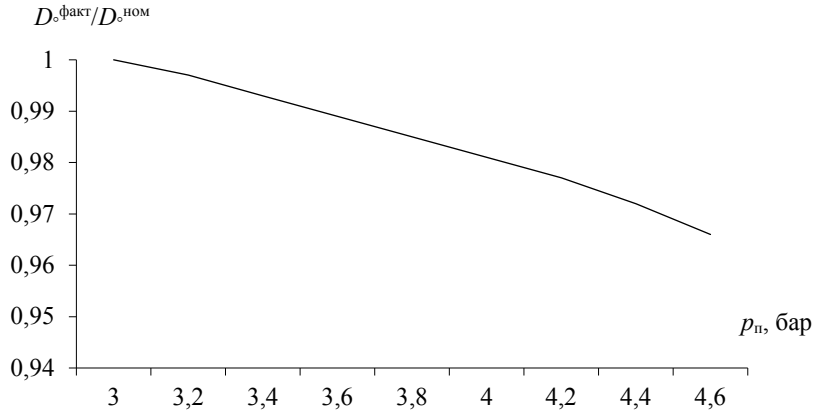


Рис. 7. Вплив протитиску відпрацьованої пари на виході з парової турбіни — $p_{п}$, на пропускну здатність проточної частини парової турбіни — $D_{\circ}^{факт}/D_{\circ}^{ном}$

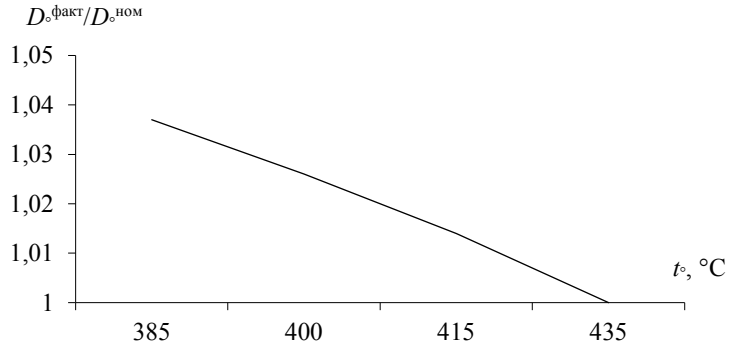


Рис. 8. Вплив температури гострої пари на вході в парову турбіну — $t_{\circ}$, на пропускну здатність проточної частини парової турбіни — $D_{\circ}^{факт}/D_{\circ}^{ном}$

На основі встановленого впливу технічних та економічних факторів пропонується така методологія формування належного типорозміру турбоагрегату, який не створить фінансових проблем у разі енергопостачання промислового підприємства, що реалізує політику енергозбереження:

1. Визначається середньодобова виробнича потужність промислового підприємства — $A_{\text{п.п}}$, т прод/добу.

2. Визначається вид палива для джерела енергопостачання підприємства і його коефіцієнт умовного палива — $K_{\text{у.п}}^{\text{пал}}$, од.

3. Встановлюється вартість закупівлі електроенергії для промислових споживачів 1-го (> 27 кВ) або 2-го (< 27 кВ) класу від РЕС, з урахуванням ПДВ та діючих тарифів на розподіл і передачу — $C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$, грн/(кВт·год).

4. Визначається закупівельна вартість палива (з ПДВ та платою за транспортування) — $C_{\text{пал}}$, грн/тис. м^3 або грн/тонну.

5. Визначається заводська собівартість, виробленої турбоагрегатом на базі парової турбіни з протитиском, електричної енергії — $C_{\text{е.е}}^{\text{ТА}}$, грн/(кВт·год), за формулою:

$$C_{\text{е.е}}^{\text{ТА}} = (b_{\text{е}}^{\text{дж}} / K_{\text{у.п}}^{\text{пал}}) \cdot C_{\text{пал}} \cdot K_{\text{е.е}}^{\text{експл}} \cdot 10^{-6}, \quad (9)$$

де: $b_{\text{е}}^{\text{дж}}$ — питома витрата умовного палива на відпущену електричну енергію від джерела енергопостачання, в структурі якого експлуатується турбоагрегат, г у.п/(кВт·год). Дорівнює в межах від 167,4 до 185,4 залежно від ефективності системи генерації електроенергії;

$K_{\text{е.е}}^{\text{експл}}$ — коефіцієнт, що враховує експлуатаційну складову заводської собівартості відпущеної електроенергії, од. Дорівнює від 1,15 до 1,30, залежно від фактичних затрат, віднесених на виробництво електроенергії.

6. Порівнюються $C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$ і $C_{\text{е.е}}^{\text{ТА}}$ і формується висновок щодо фінансової доцільності встановлення й експлуатації турбоагрегату за існуючого співвідношення цін на паливо та електроенергію від РЕС:

- у разі $C_{\text{е.е}}^{\text{ТА}} > C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$ встановлення турбоагрегату економічно збитково і тому економічно недоцільно;
- у разі $C_{\text{е.е}}^{\text{ТА}} < C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$ встановлення турбоагрегату економічно вигідно і тому економічно доцільно.

7. Визначаються номінальні параметри гострої пари з парогенераторів: абсолютний тиск — $p_{\text{ПГ}}^{\text{ном}}$, бар, температура – $t_{\text{ПГ}}^{\text{ном}}$, °С.

8. Визначаються фактичні експлуатаційні параметри гострої пари з парогенераторів: абсолютний тиск — $p_{\text{ПГ}}^{\text{факт}}$, бар, та температуру — $t_{\text{ПГ}}^{\text{факт}}$, °С, ентальпія — $h_{\text{ПГ}}^{\text{факт}}$, кДж/кг.

9. Визначаються фактична ентальпія живильної води на вході в парогенератори — $h_{\text{ж.в}}^{\text{факт}}$, кДж/кг.

10. Визначаються фактичні тиск — $p_{\circ}$, бар, та температура – $t_{\circ}$, °С гострої пари перед стопорними клапанами парової турбіни за формулами:

$$p_{\circ} = p_{\text{ПГ}}^{\text{факт}} - \Delta p_{\text{зниж}}; \quad (10)$$

$$t_{\circ} = t_{\text{ПГ}}^{\text{факт}} - \Delta t_{\text{зниж}}, \quad (11)$$

де: $\Delta p_{\text{зниж}}$, $\Delta t_{\text{зниж}}$ — відповідно, обґрунтовані зниження тиску, бар, і температури гострої пари в транспортному паропроводі, °С.

11. Формується висновок щодо відповідності (або не відповідності) фактичних параметрів гострої і відпрацьованої пари їх номінальним значенням для відповідних типорозмірів турбоагрегатів.

12. Визначаються фактичний (експлуатаційний) абсолютний тиск технологічної пари на вході в підприємство — $p_{\text{техн}}$, бар.

13. Визначає фактичний абсолютний тиск відпрацьованої пари турбіни на виході з турбіни, з урахуванням — $p_{\text{п}}$, бар, за формулою:

$$p_{\text{п}} = p_{\text{техн}} + \Delta p_{\text{зниж}}\,, \tag{12}$$

де $\Delta p_{\text{зниж}}$ — обґрунтована втрата тиску відпрацьованої пари в транспортному паропроводі, бар.

14. Формується висновок щодо відповідності (або не відповідності) фактичних параметрів гострої і відпрацьованої пари їх номінальним значенням для відповідних типорозмірів турбоагрегатів.

15. Визначається адіабатна ентальпія відпрацьованої пари в турбіні — $h_{\text{п.а}}$, кДж/кг.

16. Визначається, у разі невідповідності фактичним параметрів пари турбіни їх номінальним значенням, відносна пропускна спроможність проточної частини парової турбіни за формулою Флюгеля-Стодоли:

$$D_{\circ}^{\text{факт}} / D_{\circ}^{\text{ном}} = (p_{\circ} / p_{\circ}^{\text{ном}}) \cdot \sqrt{(t_{\circ} + 273) / (t_{\circ}^{\text{ном}} + 273)} \times$$
$$\times \sqrt{(1 - (p_{\text{п}} / p_{\circ})^2} / (1 - (p_{\text{п}}^{\text{ном}} / p_{\circ}^{\text{ном}})^2 \,, \tag{13}$$

де: $D_{\circ}^{\text{факт}}$ — фактична годинна витрата гострої пари (так звана пропускна спроможність проточної частини парової турбіни) у разі відхилення параметрів гострої та відпрацьованої пари від номінальних значень, т/год;

$D_{\circ}^{\text{ном}}$ — номінальна витрата гострої пари у разі номінальних параметрів гострої та відпрацьованої пари, т/год;

$p_{\circ}$, $p_{\circ}^{\text{ном}}$ — відповідно, фактичний і номінальний абсолютні тиски гострої пари на вході в турбіну, бар;

$t_{\circ}$, $t_{\circ}^{\text{ном}}$ — відповідно, фактична і номінальна температури гострої пари на вході в турбіну, °С;

$p_{\text{п}}$, $p_{\text{п}}^{\text{ном}}$ — відповідно, фактичний і номінальний абсолютні тиски відпрацьованої пари на виході з турбіни, бар.

17. Формується висновок: у разі $D_{\circ}^{\text{факт}}/D_{\circ}^{\text{ном}} < 1{,}0$ — фактичний пропуск гострої пари через проточну частину парової турбіни буде менший за номінальний і фактична електрична потужність турбоагрегату очкується меншою за номінальну.

У разі $D_{\circ}^{\text{факт}}/D_{\circ}^{\text{ном}} \geq 1{,}0$ — фактичний пропуск гострої пари через проточну частину парової турбіни може перевищувати номінальний і фактична електрична потужність турбоагрегату може перевищувати номінальну.

18. Визначається фактична питома витрата гострої пари на вироблення електричної енергії в турбоагрегаті — $d_{\circ}^{\text{ТА}}$, кг/(кВт·год), за формулою:

$$d_{\circ}^{\text{ТА}} = \frac{3600}{(h_{\circ} - h_{\text{п.а}}) \cdot \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{e}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{др}}}\,, \tag{14}$$

де: $h_{\circ}$, $h_{\text{п.а}}$ — відповідно, ентальпія гострої пари перед стопорним клапаном турбіни та ізоентропна ентальпія відпрацьованої пари на виході з турбіни, кДж/кг; η_{oi}, η_{e}, $\eta_{м}$, $\eta_{др}$ — система ККД турбоагрегату, од.

19. Визначається питома паропродуктивність палива в парогенераторах — $d_{\circ}^{\text{ПГ}}$, кг пари/м^3 газу, або кг пари/кг (вугілля, пелет, тощо) за формулою:

$$d_{\circ}^{\text{ПГ}} = \frac{\eta_{\text{ПГ}} \cdot K_{\text{у.п}}^{\text{пал}} \cdot 29300}{(h_{\circ} - h_{\text{ж.в}})}, \qquad (15)$$

де: $\eta_{\text{ПГ}}$ — фактичний експлуатаційний ККД (брутто) парогенератора, од;

$K_{\text{у.п}}^{\text{пал}}$ — коефіцієнт перерахунку нижчої теплоти згоряння фактичного палива в теплоту згоряння умовного палива, од;

29300 — теплота згоряння умовного палива, кДж/кг;

$h_{\circ}$ — фактична ентальпія гострої пари на виході з парогенератора, кДж/кг;

$h_{\text{ж.в}}$ — фактична ентальпія живильної води на вході в парогенератор, кДж/кг.

20. Визначається «приведена» до енергетичних параметрів турбоагрегату вартість палива — $C_{\text{пал}}$*, за формулою (8).

21. Здійснюється зіставлення вартості покупної електроенергії від РЕС – $C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$, і «приведеної» вартості палива — $C_{\text{пал}}$*:

- у разі $C_{\text{пал}}^* < C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$, тобто умови фінансової збитковості закупівлі електричної енергії від РЕС вирішується питання або про відмову від встановлення й експлуатації турбоагрегату та експлуатації ТЕЦ в режимі парової котельні із закупівлею в РЕС усього потрібного підприємству обсягу електроенергії або про перехід турбоагрегату на підвищені параметри (тиск і температуру) гострої пари;

- у разі $C_{\text{пал}}^* > C_{\text{е.е}}^{\text{РЕС}}$, тобто умови фінансової доцільності закупівлі в РЕС електроенергії приймається рішення про встановлення турбоагрегату й експлуатації турбоагрегату в режимі когенерації.

22. Визначається фактична експлуатаційна питома витрата теплової енергії на виробництво — $q_{\text{техн}}$, Мкал/т продукції.

23. Визначається фактична експлуатаційна питома витрата електричної енергії на виробництво — $e_{\text{техн}}$, кВт·год/т продукції.

24. Визначається параметр $(+/-)W_{\text{ТА}}$, кВт, за формулою (1).

25. Здійснюється аналіз взаємної збалансованості тепло- та електроспоживання підприємства:

- за умови $W_{\text{ТА}} > 0$ енергопостачання підприємства є взаємно збалансованим і подальше зменшення теплоспоживання підприємства не загрожує турбоагрегату вихлопом;

- за умови $W_{\text{ТА}} < 0$ енергопостачання підприємства є незбалансованим і зменшення теплоспоживання підприємства загрожує турбоагрегату вихлопом і появою фінансових проблем із закупівлею електроенергії від РЕС.

26. Визначається гранично мінімальне значення питомого теплоспоживання підприємства — $q_{\text{гран}}^{\text{мін}}$, Мкал/т продукції, формула (2).

27. Визначається гранично максимальне значення питомого електроспоживання підприємства — $e_{\text{гран}}^{\text{макс}}$, кВт·год/т продукції, формула (3).

28. Здійснюється порівняння фактичних — $q_{\text{техн}}$ і граничних $q_{\text{гран}}^{\text{мін}}$ питомих витрат теплової енергії на виробництво.

29. Здійснюється порівняння фактичних і граничних параметрів питомого споживання електричної енергії.

30. Формується висновок щодо перспектив економії палива на енергопостачання підприємства:

- за умови $q_{\text{техн}} > q_{\text{гран}}^{\text{мін}}$ — турбоагрегат за фактичного рівня $e_{\text{техн}}$ виробництва експлуатується без вихлопу частки відпрацьованої пари та створює потенціал зменшення витрати палива за рахунок зменшення питомого теплоспоживання виробництва;

- за умови $q_{\text{техн}} < q_{\text{гран}}^{\text{мін}}$ — турбоагрегат за фактичного рівня $e_{\text{техн}}$ працює з вихлопом частки пари в атмосферу і не створює потенціалу зменшення витрати палива. Для створення потенціалу зменшення витрати палива потрібно зменшення питомого споживання електроенергії виробництва;

- за умови $e_{\text{техн}} < e_{\text{гран}}^{\text{макс}}$ — турбоагрегат за фактичного рівня $q_{\text{техн}}$ свого виробництва працює без вихлопу в атмосферу та створює потенціал зменшення витрати палива за рахунок зменшення питомого теплоспоживання виробництва;

- за умови $e_{\text{техн}} > e_{\text{гран}}^{\text{макс}}$ — турбоагрегат за фактичного рівня $q_{\text{техн}}$ працює з вихлопом частки пари в атмосферу. Для створення потенціалу зниження витрати палива на енергопостачання підприємства за рахунок зменшення його $q_{\text{техн}}$ потрібно зменшення питомого споживання електроенергії виробництва.

31. Визначається електрична потужність турбоагрегату відповідно до середньодобового електричного навантаження виробництва $W_{\text{ТА}}^{e}$, кВт, за формулою:

$$W_{\text{ТА}}^{e} = \frac{e_{\text{техн}} \cdot A_{\text{П.П}} \cdot K_{\text{ТА}}^{\text{вл.п}} \cdot \left(K_{\text{ТА}}^{e}\right)_{\text{нерів}}}{24}, \tag{16}$$

де: $K_{\text{ТА}}^{\text{вл.п}}$ — емпіричний коефіцієнт, що враховує потребу в електричній енергії системи власних потреб турбоагрегату, од. Дорівнює від 1,04 до 1,10.

$(K_{\text{ТА}}^{e})_{\text{нерів}}$ — емпіричний коефіцієнт, що враховує добову нерівномірність споживання електричної енергії підприємством, од. Дорівнює від 1,03 до 1,10.

32. Визначаємо електричну потужність турбоагрегату відповідно середньодобового теплового навантаження підприємства — $W_{\text{ТА}}^{q}$, кВт, за формулою:

$$W_{\text{ТГ}}^{q} = \frac{4,2 \cdot 10^{3} \cdot A_{\text{п.п}} \cdot q_{\text{техн}} \cdot (K_{\text{ТА}}^{q})_{\text{нерівн}}}{24 \cdot \gamma_{\text{ОУ}} \cdot d_{\circ}^{\text{ТА}} \cdot (h_{\text{техн}} - h_{\text{зв.конд}})}, \tag{17}$$

де: $A_{\text{п.п}}$ — виробнича потужність підприємства, т прод/добу;

$q_{\text{техн}}$ — питоме теплоспоживання підприємства, Мкал/т продукції;

24 — співвідношення, год/добу;

$\gamma_{\text{ОУ}}$ — коефіцієнт, що враховує збільшення відпрацьованої пари в охолоджувальній установці (ОУ) парової турбіни, од. Дорівнює від 1,0 до 1,05;

$h_{\text{техн}}$ — ентальпія відпрацьованої (технологічної) пари на виході з турбіни, кДж/кг;

$h_{\text{зв.конд}}$ — ентальпія зворотного конденсату, що повертається від заводу в систему турбоагрегату;

$(K_{\text{ТА}}{}^{q})_{\text{нерівн}}$ — емпіричний коефіцієнт, що враховує добову нерівномірність споживання теплової енергії (відпрацьованої пари) підприємством, од. Дорівнює від 1,03 до 1,12.

$d_{\circ}{}^{\text{ТА}}$ — фактична питома витрата гострої пари на генерацію електричної енергії турбоагрегатом, кг/(кВт·год).

33. Здійснюється зіставлення порівняння варіантів експлуатаційної потужності турбоагрегату $W_{\text{ТА}}{}^{q}$ — експлуатація за «тепловим» графіком і $W_{\text{ТГ}}{}^{e}$ — експлуатація за «електричним» графіком.

- за умови $W_{\text{ТА}}{}^{q} > W_{\text{ТА}}{}^{e}$ очікується режим з виробленням турбоагрегатом потужності електричної енергії, що перевищує потребу підприємства і створенням технічної можливості відпуску надлишкової електроенергії в РЕС.

- за умови $W_{\text{ТА}}{}^{q} < W_{\text{ТА}}{}^{e}$ очікується режим з виробленням турбоагрегатом потужності електричної енергії, що відповідає потребі підприємства і відсутності створення технічної можливості відпуску надлишкової електроенергії в РЕС.

34. Формулюється висновок:

- за наявності технічної можливості і фінансової доцільності відпуску в РЕС за договірною ціною потенційного надлишку електричної енергії власної генерації приймається рішення щодо встановлення високої розрахункової електричної потужності турбоагрегату, що відповідає режиму експлуатації за «тепловим» графіком — $W_{\text{ТГ}}{}^{q}$.

- за відсутності технічної можливості або збитковості відпуску в РЕС за договірною ціною потенційного надлишку електричної енергії власної генерації приймається рішення щодо встановлення низької розрахункової електричної потужності турбоагрегату, що відповідає режиму експлуатації за «електричним» графіком — $W_{\text{ТГ}}{}^{e}$.

35. Визначається розрахункове електричне навантаження турбогенератора — $W_{\text{ТА}}{}^{\text{розр}}$, відповідно до прийнятого техніко-фінансового рішення, за формулами:

$$W_{\text{ТА}}{}^{\text{розр}} = W_{\text{ТА}}{}^{e} + \Delta W_{\text{ТА}}{}^{\text{зап}}; \tag{18}$$

$$W_{\text{ТА}}{}^{\text{розр}} = W_{\text{ТА}}{}^{q} + \Delta W_{\text{ТА}}{}^{\text{зап}}, \tag{19}$$

де $\Delta W_{\text{ТА}}{}^{\text{зап}}$ — експлуатаційний запас номінальної електричної потужності турбоагрегату, для уникнення можливих нештатних перенавантажень, кВт. Дорівнює від 3% до 6% від розрахункової потужності турбоагрегату.

36. Визначається номінальна (паспортна) електрична потужність турбоагрегату відповідно типорозмірам заводів-виробників, представлених на енергоринку країни – $W_{\text{ТА}}{}^{\text{ном}}$, кВт, за формулою:

$$W_{\text{ТА}}{}^{\text{ном}} \geq W_{\text{ТА}}{}^{\text{розр}}. \tag{21}$$

37. Визначається пропускна спроможність проточної частини турбіни відповідно до фактичних параметрів гострої та відпрацьованої пари за формулою (13).

Приклад вибору типорозміру турбоагрегату для цукрового заводу.

$A_{\text{пп}} = 4500$ т буряку/добу.

Паливо — кам'яне вугілля.

$K_{\text{уп}}{}^{\text{пал}} = 0{,}86$ (інформація енергоринку);

$C_{\text{пал}} = 9000$ грн/тис. м^3 (інформація енергоринку);

$C_{\text{е.е}}{}^{\text{РЕС}} = 4{,}0$ грн/(кВт·год) (інформація енергоринку);

$C_{е.е}^{ТА}$ = 2,53 грн/(кВт·год), формула (9);

Зіставлення: 2,6 < 4,0 ($C_{ее}^{ТГ} < C_{ее}^{РЕС}$)

Висновок*:* встановлення турбоагрегату є економічно доцільним.

$p_{ПГ}^{ном}$ = 35,0 бар;

$t_{ПГ}^{ном}$ = 435,0°С;

$p_{ПГ}^{факт}$ = 34,0 бар;

$t_{ПГ}^{факт}$ = 430,0°С;

$h_{ПГ}^{факт}$ = 3294 кДж/кг

$h_{ж.в}^{факт}$ = 440 кДж/кг;

$p_{◦}$ = 32,0 бар; ($\Delta p_{зниж}$ = 2,0 бар), формула (10);

$t_{◦}$ = 420,0°С; ($\Delta t_{зниж}$ = 10°С), формула (11);

$p_{техн}$ = 2,7 бар;

$h_{◦}$ = 3274 кДж/кг;

$p_{п}$ = 2,9 бар ($\Delta p_{зниж}$ = 0,2 бар), формула (12);

$h_{п.а}$ = 2705 кДж/кг;

$D_{◦}^{факт}/D_{◦}^{ном}$ = 0,93, формула (13);

$d_{◦}^{ТА}$ = 9,1 кг/(кВт·год) (η_{oi} = 0,76; $\eta_{е}$ = 0,94; $\eta_{м}$ = 0,97; $\eta_{др}$ = 0,99), формула (14);

$d_{◦}^{ПГ}$ = 7,8 кг/т, формула (15);

$C_{пал}$* = (+) 6,5 грн/(кВт·год), формула (8);

Висновок: отримано позитивний результат, тобто економія палива за рахунок зменшення теплоспоживання підприємства і закупівлі відповідного обсягу електроенергії від РЕС.

$q_{техн}$ = 210,0 Мкал/т бур;

$e_{техн}$ = 29,0 Мкал/т бур;

$q_{гран}^{мін}$ = 169,6 Мкал/т бур, формула (2);

Зіставлення: $q_{техн} > q_{гран}^{мін}$ (210,0 > 169,6);

Висновок: система теплоспоживання підприємства має технічний і фінансовий потенціал енергозбереження.

$e_{гран}^{макс}$ = 35,9 кВт·год/т бур, формула (3);

Зіставлення: $e_{техн} < q_{гран}^{мін}$ (29,0 < 35,9);

Висновок: система електроспоживання підприємства має технічний і фінансовий потенціал енергозбереження.

$W_{ТА}^{e}$ = 6750 кВт, формула (16);

$W_{ТА}^{q}$ = 7760 кВт, формула (17);

Зіставлення: $W_{ТА}^{q} > W_{ТА}^{e}$ (7760 > 6750).

Висновок: вироблення електроенергії турбоагрегатом за «тепловим» графіком перевищує вироблення за «електричним» графіком. Система теплоспоживання створює надлишкову генерацію електроенергії в обсязі 1010 кВт і можливість її відпуску за договірною ціною в РЕС.

Рішення: з фінансових міркувань визнано економічно недоцільним купувати та експлуатувати турбоагрегат (парову турбіну і турбогенератор) надмірної потужності та купувати надлишкове паливо за умови низької ціни відпущеної в РЕС електроенергії.

$\Delta W_{ТА}^{зап}$ = 500 кВт;

$W_{ТА}^{розр}$ = 8000 кВт, формула (18);

$W_{ТА}^{ном}$ = 8000 кВт (4000 кВт + 4000 кВт) — два турбоагрегати на базі парових турбін Р-4-35/5, формула (19).

Номінальна витрата гострої пари на турбіну — 42,0 т/год.

Експлуатаційна пропускна спроможність гострої пари проточною частиною парової турбіни — 39,1 т/год, формула (13).

Висновки

За результатами дослідження встановлена кількісна оцінка впливу експлуатаційних параметрів енергетичного характеру промислових підприємств на режим роботи турбоагрегатів на базі парових турбін з протитиском, що забезпечують їх енергопостачання.

Сформовано фінансові обмеження на співвідношення закупівельних цін на паливо й електричну енергію, що дають змогу уникнути фінансово збиткових режимів експлуатації турбоагрегатів на базі протитискових парових турбін у разі реалізації робіт з удосконалення системи теплоспоживання підприємства з метою зниження витрати палива на виробництво.

Сформовано науково обґрунтовану методику визначення номінальної потужності турбоагрегату, що дає змогу визначити його відповідний типорозмір для системи когенераційного енергопостачання промислового підприємства.

Література

Андреев, С. Ю., Маляренко, В. А., Шубенко, А. Л., Бабак, Н. Ю., Сенецкий, А. В., Темнохуд, И. А. (2016). Когенерация в котельных на основе органического цикла Ренкина. *Комунальне господарство міст*. Харків: ХНУМГ, 130, 55—64.

ГКД 34.20.541-95. (2019). Положення про узгодження обмежень потужності і заходів щодо підвищення ефективності використання встановленої потужності теплових електростанцій. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (В редакції наказу Міненерговугілля від 21.06.2019 № 271.

Данько, І. М. (2012). Сучасний стан цукрової галузі України. Проблеми та перспективи розвитку. *Економіст,* 4, 40—41.

Епштейн, Ю. М. (2018). Біогазовий комплекс для цукрового заводу: як використання вторинної сировини проноситиме прибуток. *Журнал головного енергетика,*10, 55—58.

Казарова, І. О. (2017). *Підвищення ефективності системи енергопостачання за рахунок когенерації.* Автореф. дис. канд. техн. наук. Харків.

Капустин, В. Б., Філоненко, В. М. (1999). Когенерация в пищевой промышленности. Потребности и возможности. В кн. *Региональные проблемы энергосбережения в производстве и потреблении энергии.* Київ, 101—102.

Маляренко, В. А., Темнохуд, И. А., Сенецкий, А. В., Петров, А. Ю. (2014). Перевод котельных в режим когенерации путем внедрения турбин малой мощности. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Технічні науки. Вісник НТУСГ,* 153, 110—121. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_153_38.

Філоненко, В. М. (2009). Вплив вартості палива та електроенергії на формування проектного рівня питомого тепло споживання цукрового заводу. *Наукові праці НУХТ*, 32, 49—52.

Філоненко, В. М., Почко, С. М. (2018).Системи енергопостачання цукрового заводу в сучасних умовах ціноутворення на енергоресурси. *Міжнар. наук-техн. конф. «Перспективи розвитку цукрової галузі України»,* 61—69.

Філоненко, В. М. (2019). Формування типорозміру турбоагрегату для ТЕЦ цукрового заводу. *Міжнар. наук-техн.конф. «Перспективи розвитку цукрової галузі України».* К.: НУХТ, 42—46.

Aklilu, B. T, Gilani, S. I. (2010). Mathematical modeling and simulation of a cogeneration plant. *Applied Thermal Engineering,* 30, 2545. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.07.005.

Boss, M. J., Gradoia, M., and Hofer, D. (2005). Steam turbine technology advancements for high efficiency, high reliability and low cost of electricity. *Powergen international*. Orlando, FL, 14—16.

Gülen, S. C. (2021). Steam Turbine — Quo Vadis? *Frontiers Energy Research*, 8, 612731. https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.612731.

Mashoko, L., Mbohwa, C., Thomas, V. M. (2013). Life cycle inventory of electricity cogeneration from bagasse in the South African sugar industry. *Journal of Cleaner Production*, 39, 42—9. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.034.

Çakir, U., Çomakli, K., Yüksel, F. (2012). The role of cogeneration systems in sustainability of energy. *Energy Conversion Management,* 63, 196—202. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.041.

Pasquariello, R. (2020). Steam is here to stay. *Turbomachinery International*, 11, 24—26.

УДК 621.316

ANALYSIS OF DISPERSED GENERATION SYSTEMS

S. Baluta, V. Shesterenko, I. Izvolensky
National University of Food Technologies

Key words:
Power supply system
Dispersed generation
Reliability
Energy efficiency

Article history:
Received 13.05.2022
Received in revised form 27.05.2022
Accepted 17.06.2022

Corresponding author:
I. Izvolensky
E-mail:
energetyc@ukr.net

ABSTRACT

Ways to increase the efficiency of power supply systems are considered in the article. The main aspects of dispersed generation are presented. Recommendations for the creation of a dispersed energy infrastructure which allow to build a generation structure compatible with the load are given. This will localize the generation-consumption processes and thus minimize losses in networks by reducing the distance of energy transmission from generator to consumer. Distributed Generation System (DGS) is a fully integrated, self-regulating and self-healing energy system with a network topology, including all generation sources, all electricity networks and all types of electricity consumers, which are controlled by a single network of information control devices and systems in real-time (called Smart Grid abroad). Since all DG sources must work in synchronous mode, a person is not able to follow all these processes, and therefore the system must be independently managed and restored during various outages, which is enshrined in the concept of Smart Grid. Thus, the integration of distributed generation into electricity grids makes it possible to solve a number of problems to increase the reliability and security of electricity supply and optimize the cost of electricity for the consumer. The use of distributed generation allows to reduce the cost of centralized production and transmission of electricity and increase the reliability of electricity supply to consumers. The term "intellectual energy" is becoming a term which denotes the new principles of energy, both in Ukraine and abroad. Modern electronic, information, telecommunication, computing technologies improve energy production and energy flow management at enterprises, make them reliable, safe and efficient, give consumers new opportunities, and deepen decentralization, which aims to transform millions of private homes, office centers and businesses into producers and sellers of electricity and heat, will optimize the cost of electricity for the consumer.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-8

АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

С. М. Балюта, В. Є. Шестеренко, І. Є. Ізволенський
Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто шляхи підвищення ефективності систем електропостачання. Наведено основні аспекти розосередженої генерації. Розроблено рекомендації щодо створення розосередженої енергетичної інфраструктури, що дає змогу будувати структуру генерації, сумісну із навантаженням, а це, у свою чергу, локалізує процеси генерування-споживання і таким чином мінімізує втрати в мережах за рахунок зменшення відстані передачі енергії від генератора до споживача. Система розосередженої генерації (СРГ) — це повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана енергетична система, що має мережеву топологію, включає в себе всі джерела генерації, всі електричні мережі і всі типи споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв та систем у режимі реального часу (за кордоном отримала назву Smart Grid). Оскільки всі джерела РГ мають працювати в синхронному режимі, то система повинна самостійно керуватись і відновлюватись при різних відключеннях, що й покладено у концепцію Smart Grid . Інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі надає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання й оптимізації вартості електроенергії для споживача. Застосування розосередженої генерації дасть змогу знизити витрати на централізоване виробництво та передачу електроенергії і підвищити надійність електропостачання споживачів. «Інтелектуальна енергетика» стає терміном, що позначає нові принципи роботи енергетики як в Україні, так і за кордоном. Сучасні електронні, інформаційні, телекомунікаційні, обчислювальні технології вдосконалюють процеси енерговиробництва та керування енергетичними потоками на підприємствах, роблять їх надійними, безпечними й ефективними, наділяють споживача новими можливостями, а поглиблення децентралізації, метою якого є перетворення мільйонів приватних будинків, офісних центрів і підприємств у виробників та продавців електричної й теплової енергії, призведе до оптимізації вартості електроенергії для споживача.

Ключові слова: *система електропостачання, розосереджена генерація, надійність, енергоефективність.*

Постановка проблеми. До складу СРГ відносять малі ТЕЦ та ГЕС, парогазові установки (ПГУ), газотурбінні установки (ГТУ), сонячні електростанції (СЕС) та вітрові електростанції (ВЕС). При цьому міні- і мікроустановки малої потужності, переважно приватні, можуть підключатися до мережі 0,4 кВ або працювати в автономному режимі. За такої організації розподільча мережа принципово змінює конфігурацію та властивості і можливості міжсистемних зв'язків. Серед основних переваг мобільних розосереджених генераторів можна також виділити їх спроможність віддавати електроенергію лише в зазначені часові інтервали пікових і напівпікових навантажень. Такий режим роботи є особливо актуальним

у періоди підвищеного споживання в тих районах, де надходження електроенергії відбувається за одно- або дволінійною схемою з недостатнім коефіцієнтом запасу потужності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З точки зору зменшення нерівномірності графіка електричного навантаження застосування джерел розосередженої генерації матиме найбільший економічний ефект при використанні їх населенням. Варто зазначити, що встановлення та обслуговування таких відновлювальних джерел РГ занадто дороге для звичайних громадян, але якщо такою установкою користуються група населення (житловий район, котеджне містечко тощо), то актуальність використання СРГ зростає (Василенко, Шестеренко & Ізволенський,2018; Праховник, 2007). За таких умов можливе застосування диференційних тарифів, зменшення плати за електричну енергію, гібридне електропостачання від мережі чи від джерел СРГ. Використання такої мікромережі вигідне не тільки для місцевих споживачів, а й для об'єднаної енергетичної системи України (Кириленко, 2009).

Мета статті: дослідження умов створення СРГ в невеликих населених пунктах України.

Матеріали і методи. Використовувались положення теорії автоматичного регулювання, фізичне та математичне моделювання процесів, методи багатокритеріального прийняття рішень.

Викладення основних результатів дослідження. Приведено результати дослідження системи енергозабезпечення цукрових заводів України.

Під час реконструкції цукрових заводів в 70-х роках XX ст. розрахункову потужність визначали приблизним методом коефіцієнта попиту. Цей метод надзвичайно простий. Розрахункова активна потужність за цим методом (Шестеренко, 2011) визначається за формулою:

$$P_p = \text{К}_{\text{поп}} P_{\text{ном}},$$

де $\text{К}_{\text{поп}}$ — коефіцієнт попиту; $P_{\text{ном}}$ — номінальна потужність групи електроприймачів.

Коефіцієнт попиту потужності обчислюється за формулою:

$$\text{К}_{\text{поп}} = \frac{P_{\text{м}}}{P_{\text{ном}}}.$$

Розрахункова реактивна та повна потужність:

$$Q_p = P_p tg\varphi;$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

Похибка цього методу досягає 30%.

На сьогодні цей метод рекомендується для визначення розрахункової потужності тільки освітлювальних електроприймачів.

Електричне навантаження — це випадкова величина, що підпорядковується теорії ймовірності. Загалом, розрахункова потужність відповідає виразу:

$$P_p = \sqrt{\text{M}(P)^2 + \sigma^2},$$

де M(P) — математичне очікування активної потужності; σ^2 — дисперсія.

Тільки за умови застосування апарату теорії ймовірності можна одержати задовільні результати при визначенні розрахункової потужності всіх електроприймачів.

Розрахункова потужність визначається за методом впорядкованих діаграм, розробленим з використанням математичного апарату теорії масового обслуговування:

$$P_p = \text{К}_\text{м} P_\text{см},$$

де $P_\text{см}$ — середня потужність за максимально завантажену зміну. Ця величина є базовою для всіх розрахунків.

Коефіцієнт максимуму потужності:

$$\text{К}_\text{м} = \frac{P_\text{м}}{P_\text{см}},$$

де $P_\text{м}$ — максимум за добовим графіком потужності;

$$P_\text{см} = \sum_1^n \text{к}_{\text{в}_i} p_{\text{ном}_i};$$

$$\text{К}_\text{м} = 1 + \frac{1,4}{\sqrt{(n_e - 1)^{1.1}}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 1,2 \cdot \text{К}_\text{В}}{\text{К}_\text{В} - 0,01}};$$

$$\text{К}_\text{В} = \frac{P_\text{см}}{P_\text{ном}}.$$

Коефіцієнт форми графіка $\text{К}_\text{ф} = \frac{P_\text{ск}}{P_\text{с}}$, де $P_\text{ск}$ — середньоквадратична потужність, визначаються за формулою:

$$P_\text{ск} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}.$$

Основний параметр графіка — середня потужність.

$$P_\text{с} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt,$$

$$P_\text{с} = \frac{W}{T},$$

де W — енергія, яку споживає підприємство протягом доби.

На цукровому заводі коефіцієнт форми графіка КФ ≈ 1, тобто добовий графік потужності стабільний, а в населених пунктах КФ ≈ 1,5, графік різкозмінний.

Застосування розосередженої генерації дає змогу знизити витрати на централізоване виробництво та передачу електроенергії і підвищити надійність електропостачання споживачів, надійність шляхом захищеності від аварійних відключень зменшити залежність від централізованих електричних мереж.

Практично всі цукрові заводи України мають комбіновану систему електропостачання. Проблеми розосередженої генерації в Україні були відомі у 80-х роках минулого століття. Коли ще терміна «розосереджена генерація» не існувало, проводилися експерименти з використання «надлишкової» електроенергії ТЕЦ

цукрових заводів для живлення інших споживачів. Для цього необхідно було підключити генератори ТЕЦ паралельно до енергосистеми, тобто до мереж обленерго. При цьому необхідно було вирішити ряд технічних задач та проблем енергоменеджменту. Технічні проблеми, зокрема релейний захист, були розв'язані досить добре. А несумісність добових графіків активної потужності ТЕЦ заводу та побутових споживачів населених пунктів не дала можливості широкого впровадження ідеї. На цукровому заводі коефіцієнт форми графіка КФ ≈ 1, тобто добовий графік потужності стабільний, в населених пунктах КФ ≈ 1,5, графік різкозмінний.

Уже тоді пропонувалось енергію ТЕЦ заводу акумулювати протягом ночі і споживати вранці та ввечері. На той час ця ідея здавалась нездійсненною мрією.

Незважаючи на відсутність законодавчої бази, автори тогочасної розосередженої генерації вирішили проблему енергоменеджменту таким чином: у період переробки буряків ТЕЦ цукрового заводу видає електроенергію в мережі обленерго авансом, не вимагаючи оплати. В ремонтний період, коли ТЕЦ не працює, обленерго повертає таку ж кількість енергії заводу. На жаль, згідно з чинними нормативними документами в електричних мережах, що мають двонаправлений облік перетікань активної та реактивної електроенергії, оцінювання втрат активної електроенергії можливе лише за умов збігу напрямків транзитів активної та реактивної потужності.

Була розроблена методика визначення втрат активної енергії при незбігу потоків активної та реактивної енергій. Втрата електроенергії при трансформації, передачі та розподіленні її є неминучою. Вона визначається фізичними властивостями матеріалів, які використовуються при конструюванні електроустановок. Техніко-економічне обґрунтування зниження втрат енергії у мережах, по суті, зводиться до одержання відповіді на питання про те, якою ціною й до якої межі вигідно знижувати рівень втрат електроенергії.

На кафедрі ЕПЕМ був створений прилад для вимірювання втрат енергії. Цілком задовільні результати можна отримати, якщо використовувати вимірювальні пристрої — реєстратори втрат (Шестеренко, 2011). При цьому втрати енергії дорівнюють:

$$\Delta W = AR,$$

де A — покази реєстратора втрат; R — активний опір лінії електропередачі (трансформатора, реактора тощо). Принцип роботи приладу полягає в аналоговому копіюванні рівняння:

$$A = \int_0^T I^2 dt,$$

де I — струм у лінії; T — час, за який визначають втрати.

Для радіальної лінії з одним трансформатором втрати енергії дорівнюють:

$$\Delta W = T\Delta P_x + mAk_{\text{і}}^2 \cdot 10^{-3}\left(R_{\text{л}} + \frac{\Delta P_k U_{\text{ном}}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{\text{ном}}^2}\right).$$

Система споживання електричної енергії відзначається суттєвою інерційністю. Масове відключення потужних споживачів-регуляторів графіка навантаження

може призвести до небажаних перехідних процесів, до коливань у системі електропостачання і до погіршення стійкості паралельної роботи енергоагрегатів системи, що в критичних моментах може призвести до розвалу системи і до порушення електропостачання на тривалий період. Регулювання споживання електричної енергії по величині відхилення параметра від заданої величини має значну похибку. Крім того, похибка збільшується за рахунок зони нечутливості системи. Керування електроспоживанням за допомогою математичних моделей дасть змогу суттєво покращити процес регулювання, а застосування для регулювання існуючих систем вимірювання електроенергії забезпечить впровадження способу з мінімальними інвестиціями.

Інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі надає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання, збереження стійкості функціонування енергосистем та оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження витрат на централізовану передачу та розподіл електричної енергії, забезпечення основних послуг і підвищення енергоефективності. Зазначена ідеологія базується на активній інформатизації та інтелектуалізації енергетичних об'єктів, широкому використанні розосередженої генерації, передусім на рівні розподільних електричних мереж середньої та низької напруги, створенні та впровадженні провідних енергоефективних технологій у сфері генерації та розподілу енергії.

У системі розосередженої генерації для керування потоками реактивної потужності та регулювання напруги була запропонована дворівнева система керування (Шестеренко, 2011).

Як правило, пристрої для використання відновлювальних джерел енергії працюють ізольовано. А це призводить до використання додаткових, резервних пристроїв. Наприклад, для підігріву води використовують електронагрівачі, що підключені до енергосистеми. Сонячні батареї повинні мати акумулятори чи резервну дизельну електростанцію. Разом з тим, якщо об'єднати всі джерела енергії в єдину систему комплексного використання відновлювальних джерел енергії населеного пункту, необхідність у застосуванні резервних джерел зникає. В розробленій на кафедрі ЕПЕМ системі комплексного використання відновлювальних джерел енергії введено геліоколектори нагрівання води, сонячну електричну батарею, когенераційну систему, біогазову установку, підключену до когенераційної системи та паливного елемента, автоматизований твердопаливний водяний котел для спалювання горючих відходів, вітроелектростанції, сонячної батареї.

Паливний елемент та електричний вихід когенераційної системи приєднані до розподільчого щита з функцією перетворення параметрів електроенергії відповідно до чинного стандарту, виходи геліоколектора, водяного котла та тепловий вихід когенераційної системи приєднані до акумулятора тепла, вихід якого та вихід розподільчого щита приєднані до споживачів теплової та електричної енергії через датчики витрат води та електричної енергії, а також у схему системи введено мікропроцесорний блок керування, вхід якого підключений до датчиків витрат електроенергії та води, вихід блоку керування підключений до розподіль-

чого щита, когенераційної системи та автоматизованого твердопаливного водяного котла, мікропроцесорний блок керування враховує вартість енергії в кожному типі джерела енергії і забезпечує мінімум вартості енергії в загальній системі енергопостачання, об'єднує всі джерела енергії в єдину систему й оптимізує потужності окремих джерел за рекомендацією математичної оптимізаційної моделі, при цьому обмеження по потужності стосуються тільки паливного елемента, когенераційної системи та твердопаливного водяного котла.

Технічна суть запропонованої системи пояснюється кресленням (рис.), на якому зображено блок-схему системи комплексного використання відновлювальних джерел енергії (Патент України № 104083, F03 D 9/00 — Система комплексного використання відновлювальних джерел енергії).

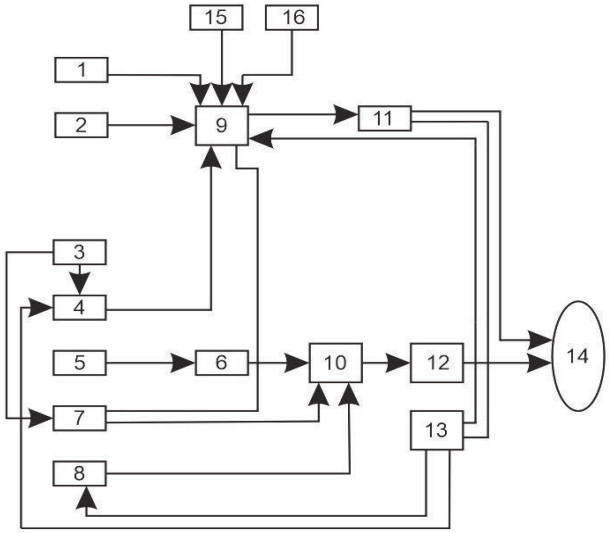


Рис. Схема системи комплексного використання відновлювальних джерел енергії:
1 — вітроенергетична установка; 2 — сонячна батарея; 3 — біогазова установка; 4 — паливний елемент; 5 — геліоколектор; 6 — термоклапан з термочутливим елементом на основі матеріалу з ефектом пам'яті форми (Патент України №13349); 7 — установка когенерації; 8 — автоматизований твердопаливний водяний котел, в якому використовують горючі відходи; 9 — розподільчий електрощит; 10 — акумулятор тепла з електропідігрівом; 11 — датчик електроспоживання; 12 — датчик витрат води з датчиком температури; 13 — блок керування; 14 — споживачі електроенергії та теплої води

Працює система таким чином: вітрова електростанція 1 та сонячна електрична батарея 2 можуть забезпечити населення електричною енергією, когенераційна система заводської комплектації 7 — тепловою та електричною, геліоколектори 5 — тепловою. Пальним для когенераційної системи є біогаз, який поступає з біогазової установки 3. Цей же біогаз поступає на паливний елемент 4, де його енергія безпосередньо перетворюється в електричну енергію. Всі джерела енергії об'єднують в єдину систему і регулюють потужності окремих джерел за рекомендацією математичної оптимізаційної моделі, при цьому враховують вартість енергії в кожному типі джерела енергії і забезпечують мінімум вартості енергії в

загальній системі енергопостачання. Електричну та теплову енергію від сонячних установок та вітрової електростанції споживають без обмежень. Джерела електроенергії приєднані до розподільчого щита з функцією перетворення параметрів електроенергії відповідно до чинного стандарту ГОСТ 13109-97. Можливе зменшення потужності когенераційної установки 7, паливного елемента 4 та твердопаливного водяного котла 8 в літній період. При незначних швидкостях вітру, зменшенні рівня сонячної радіації основне навантаження припадає на когенераційну систему 7 і біогазову установку 3, підключену до когенераційної системи 7. Команду на зміну режиму роботи видає блок керування 13, вхід якого підключений до датчиків витрат електроенергії та гарячої води 11, 12, вихід блоку керування 13 підключений до розподільчого щита 9, когенераційної системи 7 та автоматизованого твердопаливного водяного котла 8.

В опалювальний сезон суттєво зростає споживання теплової енергії і одночасно зменшується рівень сонячної радіації. Ефективність сонячної батареї та геліоколекторів суттєво зменшується, але зростає потужність вітроелектростанції, оскільки збільшується швидкість вітру. Це частково компенсує недовиробництво електроенергії сонячними батареями. В періоди штилю і низьких температур повітря збільшують потужність когенераційної системи, біогазової установки, автоматизованого твердопаливного водяного котла та паливного елемента. Оскільки біогазова установка працює періодично і відключається при завантаженні чи очистці її від відходів, необхідно передбачити дві (або більше) установок.

Якщо об'єднати всі відновлювальні джерела енергії — вітроенергетичну установку, сонячну батарею, біогазову установку, геліоколектор, автоматизований твердопаливний водяний котел, в якому використовують горючі відходи, в єдину систему, необхідність у застосуванні резервних джерел енергії зникає.

Висновки

Отже, використання джерел розосередженої генерації матиме найбільший економічний ефект при використанні їх населенням. Застосування розосередженої генерації дає змогу знизити витрати на централізоване виробництво та передачу електроенергії і підвищити надійність електропостачання.

Основна концепція роботи розосереджених джерел енергії — цілодобова генерація з буферним накопиченням енергії в кількості, достатній для покриття пікових споживчих навантажень.

Інтеграція розосередженої генерації в електричні мережі надає можливість вирішити ряд проблем для підвищення надійності та безпеки електропостачання, збереження стійкості функціонування мереж України та оптимізації вартості електроенергії для споживача, зниження витрат на централізовану передачу та розподіл електричної енергії, забезпечення основних послуг та підвищення енергоефективності, підвищення якості та безперебійності електропостачання, зменшення залежності від централізованих електричних мереж, підвищення надійності шляхом захищеності від аварійних відключень .

Література

Василенко, С. М., Шестеренко, В. Є., Ізволенський, І. Є. (2018). Перша в Україні система розосередженої генерації на базі ТЕЦ цукрового заводу. *Цукор України*, 5—6, 22—27.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів: М-во палива та енергетики України. [1-ше вид., офіційне] (2007). Харків: Вид-во "Індустрія".

Праховник, А. В. (2007). *Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения* . Київ: Освіта України.

Шестеренко, В. Є. (2011). *Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств*. Вінниця: Нова Книга.

Кириленко, О. В. (2009). Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*, 24, 3—7.

Правила користування електричною енергією. Національна комісія з питань регулювання електроенергетики України. Постанова НКРЕ, документ z0417-96, редакція від 07.05.2010, підстава z0304-10). http: //zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417–96.

Балюта, С. М., Шестеренко, В. Є., Софілканич, В. В. (2016). Підвищення якості напруги на виході сонячних батарей. *Наукові праці НУХТ*, 22(1), 159—165.

Shesterenko, V., Baljuta, S., Romaniuk, V.**,** Mashchenko, O. (2021). *Innovative methods of improving the electric power supply systems reliability.* The 9th International scientific and practical conference "European scientific discussions" (July 18—20, 2021). Potere della ragione Editore, Rome, Italy,119—123.

Baljuta, S., Shesterenko, V., Mashchenko, O.(2015). Control sources of reactive power as effective method of increased efficiency in power supply systems for food production. *Journal of FOOD and PACKAGING Science, Technique and Technologies*, 4(7), 30—35.

Otsuka, K., Wayman, C. M. (1999). *Shape Memory Materials*, Cambridge University Press, Cambridge.

Koh, J. S. (2018). Design of Shape Memory Alloy Coil Spring *Actuator for Improving Performance in Cyclic Actuation*, 11(11), 2324.

УДК 621.311

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION TRENDS BY FOOD INDUSTRY OF UKRAINE

Y. Onyshchenko
National University of Food Technologies
A. Zamulko
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Key words:
Energy efficiency
Fuel and energy resources
Energy consumption
Technological process
Food industry

Article history:
Received 19.05.2022
Received in revised form 07.06.2022
Accepted 21.06.2022

Corresponding author:
Y. Onyshchenko
E-mail:
yaroslav_onyshchenko @ukr.net

ABSTRACT

The article showes the modern use of rating evaluation as a marketing tool for analyzing and evaluating the efficiency of energy installations which take part in technological processes for the production of food products. Classification of rating methods was carried out, taking into account the levels of functioning of the investigated objects.

The use of rating assessment as a driving mechanism for further actions to identify effective management solutions aimed at increasing the efficiency of the use of fuel and energy resources at food industry enterprises.

In the paper, an analysis of indicators was carried out in terms of the main groups of research objects and a group of indicators was identified, which are recommended for use in the tasks of rating objects according to their functioning indicators.

Today, in the field of improving energy efficiency of Ukraine, it is important to develop a simple and accessible list of measures to create a comprehensive energy efficiency management system. The experience of European countries shows that the implementation of energy efficiency policy requires changes at the level of management decisions through the implementation of energy management systems in accordance with the ISO 50001 standard "Energy management systems: requirements and guidelines for application." However, the identified problems in the accounting and control of energy resources at food industry enterprises on the example of bakery enterprises, and the lack of simple algorithms for the analysis of complex technological processes, complicate and in some cases make it impossible to introduce ISO 50001 standards. Comparison the functioning of Ukrainian and European manufacturing enterprises in the conditions of the modern economy, is not expedient, since the latter are based on significant capital investments for the total (global) modernization of production facilities, and in some cases the construction of new ones, which is unattainable for Ukraine. Therefore, the search for experience in the development and implementation of effective management solutions aimed at increasing energy efficiency at food industry enterprises is relevant and in demand.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-9

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ХАРЧОВОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ УКРАЇНИ

Я. Д. Онищенко
Національний університет харчових технологій
А. І. Замулко
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

У статті розглянуто сучасне використання рейтингового оцінювання як маркетингового інструментарію для аналізу та оцінювання ефективності роботи енергетичних установок, які беруть участь у технологічних процесах виготовлення продуктів харчування. Здійснено класифікацію методів визначення рейтингу з урахуванням рівнів функціонування досліджуваних об'єктів.

Доведено використання рейтингової оцінки як рушійного механізму для подальших дій з виявлення ефективних управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах харчової промисловості.

Проведено аналіз показників у розрізі основних груп об'єктів дослідження та виявлено групу показників, які рекомендовані для використання в задачах рейтингування об'єктів за показниками їх функціонування.

На сьогодні для підвищення енергоефективності України важливо розробити простий і доступний перелік заходів щодо створення комплексної системи управління енергоефективністю. Досвід європейських країн свідчить, що впровадження політики енергоефективності вимагає змін на рівні управлінських рішень шляхом впровадження систем енергетичного менеджменту відповідно до стандарту ISO 50001 «Системи енергетичного менеджменту: вимоги та настанови щодо застосовування». Однак виявлені проблеми в частині обліку та контролю енергетичних ресурсів на підприємствах харчової промисловості на прикладі хлібопекарських підприємств і відсутність простих алгоритмів для аналізу складних технологічних процесів ускладнюють, а в деяких випадках унеможливлюють запровадження стандартів ISO 50001. Порівнювати функціонування виробничих підприємств України з європейськими в умовах сучасної економіки є недоцільним, оскільки останні базуються на вагомих капіталовкладеннях на тотальну (глобальну) модернізацію виробництв, а в деяких випадках будівництва нових, що є недосяжним для України. Тому пошук досвіду в розробці та запровадження дієвих управлінських рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності на підприємствах харчової промисловості, є актуальним і затребуваним.

***Ключові слова**: енергетична ефективність, паливно-енергетичні ресурси, енергоспоживання, технологічний процес, харчова промисловість.*

Постановка проблеми. Харчова промисловість одна з досить енергоємних галузей України, яка має значні резерви з енергозбереження. На території України практика будівництва нових підприємств переробної галузі не користується

популярність через велику вартість нового обладнання, складнощі його ввозу, навчанням персоналу тощо. Надається перевага вже існуючим підприємствам з морально та технічно застарілим технологічним обладнанням з виготовлення продуктів харчування. Запровадження міжнародних стандартів, передбачених в стандарті ISO 50001, потребує розробки простих методів аналізу, які з мінімальними зусиллями виявлять, серед існуючих об'єктів, впроваджені технології, що реально підвищують енергоефективність виробництва, для подальшого їх використання на інших, схожих за технологією виробництва підприємствами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, пов'язані з розвитком систем енергетичного менеджменту, запровадження міжнародних стандартів ISO 50001 висвітлюються в наукових працях вітчизняних і зарубіжних науковців. Так, у праці (Миснік, 2014) обґрунтовано доцільність використання кластерного аналізу для рейтингового оцінювання галузей національного господарства та запропоновано характеристику етапів комплексної рейтингової оцінки. У (Мельник, 2011) запропоновано принципові засади для відбору груп показників, якими слід керуватись при побудові рейтингових систем оцінювання машинобудівних підприємств, що слід враховувати на всіх етапах формування узагальненої рейтингової оцінки. Дослідження (Cooper, Seiford & Tone, 2000) присвячені роз'ясненню особливостей роботи методу «DEA-Solver», який дає змогу проводити порівняльний аналіз різноманітних об'єктів, що займаються різними видами діяльності. Метод DEA надає можливість виконувати аналіз «оболонки» даних для визначення ефективності роботи управлінських рішень, спрямованих на покращення роботи досліджуваного об'єкта.

Мета статті: дослідження практичних шляхів використання методу рейтингового оцінювання як механізму для підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості.

Матеріали і методи. Застосовано системний підхід та методології економічного, статистичного та економіко-математичного аналізу для вивчення тенденцій, динаміки макроекономічних показників харчової промисловості України.

Викладення основних результатів дослідження. Під рейтингом слід розуміти комплексну характеристику підприємств галузі, яка проводиться згідно з певною шкалою. Рейтингова оцінка проводиться на основі кластерного аналізу (присвоєння рангів) впливу різних факторів (Вітлінський, 2003). Кластерний аналіз проводиться за таким алгоритмом:

1. Формулювання проблеми.
2. Вибір критеріїв оцінювання.
3. Вибір методу рангування.
4. Прийняття рішення про якість кластерів.
5. Інтерпретація і профілювання кластерів.
6. Оцінка достовірності кластерів.

З метою виконання рейтингом функції комплексного діагностичного індикатора, він повинен базуватися на ретельно відібраному та адекватно опрацьованому наборі показників і критеріїв їх оцінювання, що найвиразніше відображають результативність об'єкта рейтингування в усіх сферах його функціонування. Саме тому показниково-критеріальне наповнення має вирішальне значення у рейтингуванні, адже саме від підходів щодо вибору та особливостей узагальнення індикаторів енергоефективного, виробничо-інноваційного, технологічного й

маркетингового характеру залежить успішність рейтингової процедури та об'єктивність рейтингових оцінок.

Використання такого підходу є цілком виправданим в ринкових умовах господарювання, адже кожен промисловий виробник прагне за всіма ключовими показниками бути найуспішнішим, випереджаючи провідних конкурентів.

Процес розвитку енергетичної складової, яка витрачається на виробництво продуктів харчування, має низку характерних особливостей, якими не можна нехтувати в процесі розроблення критеріїв оцінювання.

По-перше, це певна унікальність кожної виробничої системи, адже до складу виробничих операцій може входити досить суттєва кількість різноманітного обладнання різної потужності. З огляду на цю особливість як критерії оцінювання необхідно використовувати відносні чи питомі показники.

По-друге, неперервність розвитку, оновлення та вдосконалення рецептур виробництва і технологічних лінії, що забезпечується виконанням планових ремонтних робіт окремих вузлів та агрегатів, з їх частковою або повною заміною, науковою розробкою та впровадженням прогресивних технологічних і технічних рішень, удосконаленням методів управління. Для врахування цієї особливості рекомендується така періодичність визначення рейтингу: на рівні підприємства (серед підприємств) — один раз на квартал; на рівні галузі (з індивідуальним переліком критеріїв) — один раз на рік.

Тобто об'єктом оцінювання в таких задачах можуть виступати як структурні підрозділи підприємства (за умови спорідненості технологічних процесів), так і підприємства зі спорідненими виробництвами.

Однак питання вибору критеріїв оцінювання (табл. 1) є неєдиним, необхідно також враховувати ступінь їх значущості та можливість їх отримання в реальних умовах підприємства (цеху).

Таблиця 1. **Аналіз доцільності застосування параметрів у розрізі рівнів об'єктів оцінювання**

Параметр	Рівень		
	цех	підприємство	галузь
Енергоємність ВВП	○	✓	✓
Питомі витрати енергоносіїв на одиницю основних видів виробленої продукції	✓	○	×
Витрати основних видів енергоресурсів та води	○	✓	○
загальний обсяг споживання паливно-енергетичних ресурсів	✓	✓	○
обсяг споживання енергоресурсів за видами економічної діяльності	○	✓	✓
обсяг випуску основних видів продукції	✓	✓	○
енергоємність ВВП за видами ПЕР	×	✓	✓
енергоємність валової доданої вартості	×	○	✓
обсяг економії основних видів енергоресурсів	○	○	○
обсяг коштів, залучених на фінансування	✓	✓	✓
кількість встановлених приладів обліку споживання енергоресурсів та води	✓	×	×

Примітка: «✓» — рекомендовано; «○» — доцільно; «×» — не доцільно.

Математичну постановку задачі рейтингування даних пропонується сформулювати таким чином: множина об'єктів оцінювання $U_i, i = \overline{1,m}$, описується з використанням критеріїв $K_k, k = \overline{1,n}$, , що разом утворюють зведену двомірну матрицю X показників a_{ik}:

$$X = \left\| a_{ik} \right\|, \tag{1}$$

де $i = \overline{1,m}$, — номери об'єктів оцінювання; $k = \overline{1,n}$, — номери критеріїв оцінювання K_i; a_{ik} — значення k-го показника для кожного i-го об'єкта оцінювання. Рейтингування полягає в агрегуванні показників a_{ik} для кожного об'єкта оцінювання і формуванні одномірної матриці Y рейтингів RE_i:

$$Y = \left\| RE_i \right\|. \tag{2}$$

Отже, рейтинг — це комплексна оцінка стану аналізованого об'єкта, яка надає можливість віднести його до певного класу чи категорії. Рейтингова оцінка є універсальною, адже вона визначається шляхом розроблення інтегрального показника, який дає змогу врахувати як кількісні, так і якісні характеристики досліджуваного об'єкта, а також має властивості динамічності та коректування.

Модель оцінювання результатів діяльності підприємств харчової промисловості на рівні торговельної марки зображено на рис. 1.

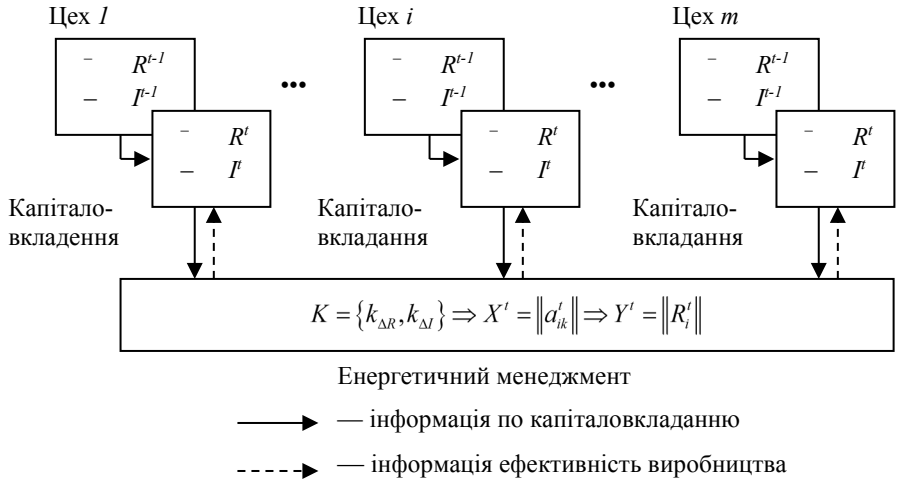


Рис. 1. Модель оцінювання енергоефективності роботи об'єктів харчової промисловості за видом економічної діяльності (де R — обсяг випущеної продукції, I — обсяг спожитої енергії)

Важливо зазначити, що на рівні окремого цеху можливе застосування аналогічної моделі оцінювання, оскільки система розподілу електроенергії, як правило, має у складі агрегати, які також є енергетичними об'єктами зі своїми характеристиками.

Для встановлення цільових значень $\{R^*, I^*\}$ можуть бути використані: по-перше, методи групового оцінювання (або рейтингування), засновані на порівнянні результатів роботи аналогічних об'єктів, представлених у сфері переробної промисловості; по-друге, методи формування індивідуальних узагальнених показників ефективності, що передбачають розроблення моделі еталонного або «ідеального» підприємства.

З метою наочного відображення реалізації комплексного рейтингування об'єктом дослідження обрано групу промислових підприємств, розташованих на території великого міста, діяльність яких зосереджена у сфері виробництва хлібобулочних виробів.

Остаточний вибір критеріїв оцінювання в цьому дослідженні зумовлений практичною умовою — наявними вихідними даними (для цього використано показники роботи п'яти цехів хлібокомбінатів). На об'єктах, які брали участь у дослідженні, використовується комерційна система обліку, яка передбачає встановлення приладів обліку безпосередньо на виводах 0,4 кВ на підприємство. Облік електричної енергії ведеться тільки в загальному вигляді, що унеможливлює отримання даних по вузловому енергоспоживанню, а тим паче отримати вибірку показників за досліджуваний період часу безпосередньо з технологічних агрегатів. Однак встановлені лічильники електричної енергії відрізняються, на деяких підприємствах використовують зонні тарифи.

В основі оцінки енергоефективності цехів лежить процедура побудови межі енергоефективності, яка має форму опуклої оболонки, і вивчення розташування об'єктів дослідження відносно цієї межі. Мірою енергоефективності неенергоефективного об'єкта є віддаленість точки від межі (Cooper, Seiford, 2000). Результатом DEA-аналізу є ранжування цехів за рівнем енергоефективності. Установку цілей для неенергоефективних цехів щодо досягненню певних значень показників наведено в табл. 2.

Об'єкти, у яких показник енергоефективності дорівнює одиниці, є лідерами. Аналіз структури вхідних і вихідних змінних об'єктів бенчмаркінгу свідчить, що кращими об'єктами є ті, які мають низький рівень втрат і значення питомого електроспоживання на фоні високого рівня реалізації продукції.

У процесі збору даних для дослідження через недосконалу систему контролю та обліку виявилось неможливим розділити параметри критеріїв оцінювання для цехів *B* та *C*, через що ці цехи довелось об'єднати в один.

Таблиця 2. **Результат оцінки енергоефективності цехів хлібокомбінату та еталону**

№ з/п	Назва цеху	Показник енергоефективності, θ	Ранг	Питомі витрати кВт·год/т	Відмінність від еталону	Еталонний цех
1	Цех *A*	0,57527	4	129,7	1,686	Цех E
2	Цех *B*—*C*	0,73235	3	101,9	1,393	Цех E
4	Цех *D*	0,88204	2	84,59	0,726	Цех E
5	Цех *E*	1,00000	1	74,61	1,000	Цех E

Реалізація DEA-аналізу забезпечує автоматичне формування переліку бенчмарків для неенергоефективних об'єктів ($\theta < 1$). Цех *E* є енергоефективним порівняно з іншими і слугує орієнтиром для інших цехів. Показник відмінності показує в кільки разів відрізняється енергоефективність інших цехів від еталонного. Також видно, що питання енергозбереження гостро стоїть для цеху *A*, тому що його показник енергоефективності $\theta = 0{,}57$ найгірший. Оскільки досліджувані цехи є спорідненими за типом продукції, яка виробляється, перш за все слід детально проаналізувати процеси на еталонному об'єкті. Це дасть змогу відносно швидко виявити ефективні управлінські рішення, які вже працюють у цехові *E* та використати їх у цехові *A*.

Загальний алгоритм з рейтингуванню об'єктів дає змогу в спрощеному форматі реалізувати складні задачі в умовах невизначеності шляхом проведення порівнянь за окремими показниками і встановлення планів розвитку об'єкту досліджень.

Метод DEA забезпечує встановлення цілей щодо підвищення рівня енергоефективності не енергоефективних об'єктів, які полягають у пропорційному скороченні їх вхідних факторів на величину θ при збереженні вихідних значень на початковому рівні. Рекомендовані значення показників:

$$x_i^{\text{рекомендоване}} = \theta_i \cdot x_i, \tag{3}$$

де θ_i — показник ефективності *i*-го (не енергоефективного) об'єкта; x_i — вектор значень вхідних змінних для *i*-го об'єкта.

Рис. 2. Алгоритм проведення рейтингового оцінювання

Якщо неенергоефективні цехи хлібокомбінату досягнуть рекомендованих значень показників, то вони вийдуть на межу енергоефективності. Для енергоефективних цехів рекомендовані значення показників збігаються з вихідними значеннями. Отже, однією з переваг використання DEA-аналізу є можливість визначити, які саме входи та виходи слід змінити кожному неенергоефективному об'єкту, а також на скільки їх необхідно зменшити.

Висновки

Отже, під рейтингом слід розуміти комплексну характеристику підприємств галузі, яка проводиться згідно з певними визначеними критеріями та правилами оцінювання. Визначено, що рейтингова оцінка проводиться на основі DEA аналізу впливу різних факторів. Досліджено алгоритм проведення рейтингового аналізу. Це простий циклічний алгоритм, що передбачає аналіз показників функціонування енергетичних об'єктів з подальшим виявленням найкращого з ефективною роботою обладнання та формуванням управлінських рішень, які дають змогу підвищити показники енергоефективності обладнання на об'єктах, що цього потребують.

Запропоновано диференційований перелік за рівнем оцінювання критеріїв оцінювання показників енергоефективності досліджуваних об'єктів з урахуванням їх рівнів функціонування.

Література

Бойко, О. В., Шендрик, В. В., Парфененко, Ю. В., Шендрик, С. О. (2019). Багатокритеріальний підхід до оцінки альтернативних варіантів гібридних енергетичних систем. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. Харків: ХНТУСГ, 204, 81—83. http://dspace.khntusg.com.ua/handle/123456789/10329.

Вітлінський В. В. (2003). *Моделювання економіки*. Навчальний посібник. Київ: КНЕУ.

Гаприндашвілі Б. В. (2014). Енергозбереження як чинник підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств. Харків: Інжек, 8, 213—217.

Денисюк С. П. (2013). Формування політики підвищення енергетичної ефективності сучасні виклики та європейські орієнтири. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. Київ: НТУУ «КПІ», 2(33), 7—21.

Ладанюк А. П. (2004). *Основи системного аналізу*. Навчальний посібник. Вінниця: Нова книга.

Мельник О. Г. (2010). *Системи діагностики діяльності машинобудівних підприємств: Полікритеріальна концепція та інструментарій*: Монографія. Львів: Львівська політехніка.

Мельник О. Г. (2011). *Принципи добору показників для побудови системи рейтингового оцінювання діяльності машинобудівних інноваційних структур*. Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури. Львів: Львівська політехніка.

Мельник О. Г. (2012). Методи рейтингування діяльності підприємств, *Актуальні проблеми економіки*. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2012_12_12.

Миснік С. І. (2010). *Концептуальні положення щодо моделювання рейтингового оцінювання та управління на підприємстві*. Економіка: проблеми теорії та практики: Збірник наукових праць. Дніпропетровськ: ДНУ.

Миснік С. І. (2014). *Моделювання економічного ризику та рейтингове оцінювання в системі моніторингу підприємства.* Проблеми моделювання структури і процесів економічних систем: Зб. тез доповідей учасників Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: СУЕМ.

Шуллє Ю. А. (2015). АСКОЕ як інструмент ефективного енергоменеджменту на підприємствах АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*, 165, 25—27.

Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. Data (2000). Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software. Boston : Kluwer Academic Publishers. https://www.researchgate.net/publication/32047675_Data_Envelopment_Analysis_A_Comprehensive_Text_with_Models_Applications_References_and_DEA-Solver_Software.

García-Vera, Y. E., DufoLópez R. & Bernal-Agustín, J. L. (2020). Techno-economic feasibility analysis through optimization strategies and load shifting in isolated hybrid microgrids with renewable energy for the non-interconnected zone (NIZ) of Colombia. Energies. 13. https://doi.org/10.3390/en13226146.

Ogunjuyigbe, A. S. (2016). Optimal allocation and sizing of PV/Wind/Splitdiesel/Battery hybrid energy system for minimizing life cycle cost, carbon emission and dump energy of remote residential building. Applied Energy. https://doi.org/10.1016/j.apenergy. 2016.03.051.

УДК 664.613

BIOLLOGICALLY ACTIVE NATURAL COMPOUNDS IN THE LIFE SUPPORT OF THE HUMAN ORGANISM

G. Simakhina, N. Naumenko, S. Kaminska
National University of Food Technologies
N. Gorlata
JSC "Novograd-Volynsky khlibozavod"

Key words:
Health
Life provision
Pathology Biocomponents
Fruit and berry raw materials
Physiological role

Article history:
Received 02.05.2022
Received in revised form 23.05.2022
Accepted 08.06.2022

Corresponding author:
G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The nutritional structure that is observed in many population strata is now related to the list of essential risk factors to cause the most wide-spread pathologies. It does significantly differ from the balanced nutrition formula in terms of both the vitamin and trace element level and the amount of polyunsaturated fatty acids and an array of plant-originated organic substances, which occupy the special place in metabolism regulation, support of normal functional status of human body, and provision of its life activity.

Nowadays, the philosophy and practice of evidence-based medicine are proliferating in Western countries — first in national, then in international scales. Evidence-based medicine is constantly revealing the increases of deficit of C, A, E vitamins, carotenoids, antioxidants, macroelements and trace elements in diets, which subsequently lowers the body resistance to malignant environmental factors, regarding primarily the coronavirus pandemic, and thenceforth the active battles in Ukraine. The combined deficits and defects of nutrition turn into the risk factors that benefit the development of many diseases and their transformation into chronic form, causing various limitations etc.

Therefore, the necessity to rapidly correct the nutritional structure has become the important social and economical task to the state. As the world practice shows, the wide usage of plant raw materials, including those wild, with increased amount of the main life-providing components appears to be the most effective, cheap and accessible method to solve this problem. Within the framework of the problems outlined, this article is dedicated to the analysis of the certain species of cultivated and wild plants as the main sources of biocomponents to be included into foodstuffs.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-10

БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ ПРИРОДНІ СПОЛУКИ У ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННІ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко, С. В. Камінська
Національний університет харчових технологій
Н. О. Горлата
Приватне акціонерне товариство «Новоград-Волинський хлібозавод»

До числа істотних ризик-чинників, що викликають найбільш розповсюджені види патологій, нині відносять структуру харчування, яка склалася у різних групах населення. Вона значно відрізняється від формули збалансованого харчування як за рівнем вітамінів та мінеральних речовин, так і за вмістом поліненасичених жирних кислот, багатьох органічних сполук рослинного походження, яким належить особлива роль у регулюванні процесу обміну речовин, підтриманні нормального функціонального статусу організму, забезпеченні його життєдіяльності.

В останні роки в західних країнах, спочатку в національному, а тепер і в міжнаціональному масштабі, послідовно та неухильно розвивається філософія і практика медицини, що ґрунтується на безперечних доказах (evidence-based medicine). І така доказова медицина постійно виявляє зростання частоти дефіциту в раціонах вітамінів С, А. Е, каротиноїдів, антиоксидантів, макро- та мікроелементів, мінорних сполук, що призводить до закономірного зниження стійкості організму до шкідливих впливів довкілля, особливо в період пандемії коронавірусу, а нині – й активних бойових дій в Україні. Поєднані дефіцити та дефекти харчування трансформуються в чинники ризику, створюючи умови для розвитку різних хвороб, переходу їх у хронічну форму, викликаючи різноманітні життєві обмеження тощо.

Тому необхідність швидкого корегування структури харчування стала важливим соціальним та економічним завданням держави. І, як показує світова практика, найбільш ефективним, дешевим і доступним способом вирішення цього завдання є широке використання у харчових технологіях рослинної сировини, в тому числі дикорослої, з підвищеним вмістом основних життєзабезпечуючих компонентів. У контексті зазначених питань статтю присвячено аналізові окремих видів культивованої та дикорослої сировини як основного джерела постачання населення необхідними біокомпонентами.

Ключові слова: *здоров'я, життєзабезпечення, патологія, біокомпоненти, плодово-ягідна сировина, фізіологічна роль.*

Постановка проблеми. Відомо, що від структури харчування залежить настрій людини, здоров'я, працездатність і довголіття. Зважаючи на це, компоненти харчових продуктів повинні задовольняти такі вимоги (FAO/WHO, 1992): побудова нових клітин і тканин організму; забезпечення енергії для функціонування органів та витрат на фізичну й розумову роботу; синтез і функціонування ферментів, вітамінів та інших БАР.

За сучасними уявленнями науки про здорове харчування рослинна сировина набуває все більшого значення у профілактиці та лікуванні ряду захворювань

(Максютіна & Пилипчук, 2006). Значну харчову і дієтичну дію мають овочі, плоди та ягоди, виготовлені на їхній основі продукти, особливо з додаванням нетрадиційних джерел БАР — лікарських рослин (Капрельянц & Петросьянц, 2011; Хомич & Капрельянц, 2013). Останнім часом медики-дієтологи стали активно розглядати проблему профілактики ракових захворювань аліментарним шляхом, зв'язаним з рослинними інгредієнтами, особливо з високим вмістом вітамінів і мінеральних речовин, при складанні раціонів для різних груп населення (Корзун & Парац, 2007).

З метою зміцнення імунної системи організму й запобігання онкозахворюванням рекомендується також вводити до раціону впродовж року вітаміновмісні плоди та ягоди — чорну смородину, чорноплідну горобину, малину, чорниці, ожину, вишні тощо (Касіянчук, Ковач & Касіянчук, 2013).

Відомо, що рослини чинять потужну антиоксидантну дію на організм людини. Їхній вплив виявляється підвищенням його стійкості до різноманітних шкідливих чинників (фізичних, хімічних, психоемоційних тощо). Антиоксиданти забезпечують необхідну активність антиокислювальної системи як важливої складової універсальної регулюючої системи організму. Вона контролює рівень вільнорадикальних реакцій окислення й перешкоджає накопиченню окисних токсичних продуктів.

Крім того, антиоксиданти впливають на синтез і перетворення багатьох БАР (амінів, вітамінів тощо) та беруть участь у формуванні ряду структурних елементів клітини (Левицкий, 2004). Найбільшу антиоксидантну активність мають такі БАР рослинної сировини, як токофероли, β-каротин, аскорбінова кислота й фенольні сполуки з Р-вітамінною активністю. З цієї точки зору нагальною, наприклад, постала проблема забезпечення раціональним харчуванням військовослужбовців Збройних сил України і плодово-ягідна складова є значною частиною такого раціону (Українець, Сімахіна & Кочубей-Литвиненко, 2017).

Отже, сукупність усіх зазначених властивостей рослинної сировини і продуктів на її основі визначається наявністю в них створених природою БАР, і саме завдяки їм забезпечуються харчові та біологічні потреби організму, захисні та реабілітаційні функції, нормальний перебіг усіх фізіологічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якість плодово-ягідної сировини, її смакові властивості, харчову та біологічну цінність слід розглядати як динамічну сукупність корисних властивостей, запрограмовану самою природою. Причому смакові властивості цієї сировини визначають в основному склад та кількісні співвідношення цукрів і органічних кислот, а дієтичну та лікувальну цінність — вміст есенціальних біологічно активних речовин, передусім аскорбінової кислоти, поліфенольних сполук тощо (Петрова, 1986). З вітамінів в організмі утворюються кофермент и і простетичні групи різних ферментів, що здійснюють найважливіші реакції обміну речовин. До цих вітамінів, які іноді називають ензимовітамінами, відносяться передусім водорозчинні вітаміни групи В і їх джерела — смородина, виноград, яблука, чорниця, суниці, слива, вишня та інші культури. Входячи до каталітичних центрів різних ферментів, вітаміни групи В беруть участь у здійсненні багатьох процесів обміну речовин: енергетичному (тіамін і рибофлавін), обміні жирних кислот (пантотенова кислота) та пуринових основ (фолієва кислота) тощо. Вітамін РР бере участь у реакціях клітинного обміну, в

білковому обміні і підвищує ступінь використання в організмі рослинних білків, нормалізує секреторну функцію шлунку тощо.

Вітамінів В1 і В2 у більшості видів плодово-ягідної сировини небагато. Хоча і добова потреба організму в них теж невелика — 1,3 мг вітаміну В1 і 1,6 мг вітаміну В2. Та, зважаючи на досить високі рівні споживання плодів та ягід, можна прогнозувати, що людина отримує необхідну добову потребу тіаміну та рибофлавіну.

Найбільшу групу в плодах і ягодах складають вітаміни-антиоксиданти: аскорбінова кислота, каротиноїди (зокрема, β-каротин, лікопін, лютеїн), біофлавоноїди (Левицкий, 2004). Каротиноїди, незалежно від наявності або відсутності у них здатності перетворюватись в організмі на вітамін А, володіють власною, не пов'язаною з цим перетворенням антиоксидантною активністю. Вітаміни — антиоксиданти входять до всіх плодів та ягід жовтого і оранжевого кольору. Вміст β-каротину може досягати досить високих значень (до 7 мг% в абрикосах, при добовій потребі 5—6 мг), до того ж плоди містять аскорбінову кислоту та біофлавоноїди у високих концентраціях (Петрова, 1985). За літературними даними розбіжність у кількостях вітаміну С для ягід чорної смородини різних сортів перебуває в інтервалі 49,8…589 мг% (Петрова, 1985). Тому при виборі плодово-ягідної сировини, як високовітамінного джерела, необхідно проводити ретельний аналіз в межах певних класів і родин та обирати саме тих представників, що містять найбільшу кількість вітамінів.

Відомо, що аскорбінова кислота міститься винятково в зелених рослинах і, як правило, відсутня у безхлорофільних формах. Умови, що сприяють фотосинтезу, одночасно стимулюють і накопичення аскорбінової кислоти. Не менш важливим чинником її біосинтезу є наявність необхідних вихідних речовин. Висунуто твердження, що попередниками в утворенні аскорбінової кислоти є сполуки, які мають подібну структурну будову: головним чином це монози та шестиатомні спирти (Pacier & Martirosyan, 2016).

Аскорбінова кислота в плодах і ягодах перебуває в трьох формах — відновленій, окисленій (дегідроформа) та зв'язаній (аскорбіген). Дегідроаскорбінова кислота має всі властивості вітаміну С, але, порівняно з ним, менш стійка до дії зовнішніх чинників і швидко руйнується. Сучасними методами установлено, що аскорбіген за певних умов може піддаватися гідролізові, внаслідок чого вивільнюється вільна аскорбінова кислота.

Аскорбінова кислота блокує утворення канцерогенних нітрозамінів з нітратів — харчової добавки, яка широко використовується у виробництві харчових продуктів; бере участь у регенерації α-токоферолу при вільнорадикальному його окисленні активними формами кисню; має важливе значення для системи клітинного імунітету тощо (Biesalski & Schrezenmeir, 2007). Найбільш важливими її джерелами є такі плодово-ягідні культури: айва (23…99 мг/100 г), агрус культурний (30…60 мг/100 г), малина (30…46 мг/100 г), порічка червона (80…100 мг/100 г), смородина чорна (400…570 мг/100 г), яблука (40…50%).

Мета статті: узагальнення і систематизація публікацій зарубіжних та українських авторів із з'ясуванням ролі біологічно активних речовин культивованих та дикорослих плодів і ягід у забезпеченні нормального функціонування організму людини.

Викладення основних результатів дослідження. Біохімічний склад проаналізованих плодів та ягід відзначається, зазвичай, досить високим вмістом біофлавоноїдів. Причому, за незначними винятками, спостерігається кореляція між вмістом цих двох біокомпонентів для кожного виду рослин. На думку науковців (Павлюк, Погарська & Лосєва, 2019), динамічна рівновага цієї системи може знаходитись у стійкому стані лише при певних концентраційних співвідношеннях флавонових сполук і аскорбінової кислоти. Детально вивчаючи вплив флавоноїдів на окислення аскорбінової кислоти, автори показали, що вони запобігають окисленню аскорбінової кислоти іонами металів. Механізм дії флавоноїдів полягає у блокуванні каталітичного впливу металів шляхом зв'язування їх у стабільні, нереакційноздатні комплекси. Флавоноїди сприяють економним витратам аскорбінової кислоти в живому організмі; загальновизнаною є їхня здатність зміцнювати стінки кровоносних судин і регулювати їхню проникність. Останніми дослідженнями доведено, що ефект впливу флавоноїдів на капіляри досягає максимальної інтенсивності при одночасному введенні аскорбінової кислоти (Сімахіна, Науменко & Кочубей-Литвиненко, 2022).

З точки зору біології та медицини повна характеристика рослинної сировини за вмістом капілярозміцнюючих сполук може бути дана лише за умови одночасної наявності в ній таких основних представників Р-активних сполук як безбарвні катехіни і лейкоантоціани, жовті флавони та червоно-фіолетові антоціани. Саме в аронії чорноплідній, чорній смородині, вишні, чорниці Р-активний комплекс охоплює всі названі необхідні сполуки. Для порівняння: у шипшині, наприклад, містяться в переважаючій кількості лише дві групи (катехіни та флавони).

Не менший інтерес представляють досліджені плоди і ягоди як джерело отримання біологічно активних концентратів та натуральних барвників. Наприклад, у зв'язку з вивченням БАР аронії чорноплідної постало питання про значення флавоноїдів у рослинних та тваринних організмах і перспективах розвитку їх отримання.

Нині, коли велике значення у збереженні здоров'я населення надається профілактиці захворювань, передусім серцево-судинних, надзвичайно важливим є пошук нових джерел БАР, у тому числі нетрадиційних, та їх залучення до сфери харчових технологій. Головним чином це стосується рослинних матеріалів, які поєднують у своєму складі значні кількості аскорбінової кислоти та високий вміст поліфенольних сполук.

Плоди і ягоди містять певні кількості органічних кислот — від 0,76% до 3,4%, що знову ж таки залишається властивим для кожного культурного сорту та дикорослих видів. Переважають такі органічні кислоти: яблучна, лимонна, щавлева. В менших кількостях виявлено бурштинову, фумаролу, винну, хінну, хлорогенову тощо. Всі ці кислоти надзвичайно важливі для нормального функціонування організму людини — у підтриманні кислотно-лужної рівноваги, у пригніченні розвитку шкідливих мікроорганізмів, у захисті організму від радіонуклідів, променевих уражень. Та особливою увагою науковців останнім часом користується бурштинова кислота рослин. І це не дивно. Діапазон її впливів надзвичайно широкий — вона стимулює діяльність нирок і кишечника, має

протистресову, протизапальну, антитоксичну дії. Бурштинова кислота використовується для лікування анемій різного походження, радикулітів, серцево-судинних захворювань.

На основі бурштинової кислоти українські учені розробили ряд фармацевтичних препаратів і дієтичних добавок, наприклад, «Янтарин-Детокс», яка є регулятором обміну речовин в організмі. Завдяки синергічній дії бурштинової, глютамінової, фумарової кислот, нікотинаміду та солей кальцію досягається енергетична підтримка в організмі процесів дезінтоксикації та виведення чужорідних сполук.

Особливе місце серед рослинної сировини, що містить значну кількість БАР, займають дикорослі плоди та ягоди — натуральні вітаміноносії, для яких характерні різні лікувально-профілактичні властивості (Петрова, 1986). Макро- та мікроелементи знаходяться в дикорослих в органічно зв'язаній, тобто найбільш доступній, засвоюваній організмом формі. Збалансованість і кількісний вміст основних нутрієнтів такий, якого немає у інших видах рослинної сировини. Їхній біохімічний склад залежить від природно-кліматичних зон зростання. Тому вміст окремих нутрієнтів у плодах і ягодах з різних зон коливається у досить широких межах, наприклад, вміст вітаміну С у лохині — від 28,0 до 120 мг/100 г, у журавлині — від 13,2 до 66,9, в чорниці — 6,3…36,0 мг/100 г.

Дикорослі плоди та ягоди перш за все є ефективним джерелом вуглеводів, в числі яких — цукри, поліоли, пектинові речовини, клітковина, геміцелюлози, зокрема міститься 0,2…1,8% пектинових речовин з належними желюючими властивостями, що виявляються при певному співвідношенні пектинових речовин, цукру, кислот (Хомич & Капрельянц, 2013).

У найбільших кількостях у дикорослих плодах та ягодах містяться лимонна, яблучна, винна, щавлева, бурштинова кислоти. Їх загальний вміст коливається в широких межах — від 0,6 до 6,0%. Крім нелетких кислот, у невеликій кількості присутні леткі кислоти: оцтова, мурашина, валеріанова, капронова. Кислоти фенольної природи та їх ефіри містяться в мікрокількостях в різних ягодах. Леткі кислоти формують аромат свіжих плодів та ягід.

У складі більшості плодів та ягід азотисті речовини містяться в невеликій кількості — 0,5…1,0% в перерахунку на білок. Дикорослі матеріали не є джерелом білка, однак, як показали наші подальші дослідження (Сімахіна & Халапсіна, 2017), вони теж посідають істотне місце у подоланні білкового дефіциту. У складі ягід ліпідів небагато (0,1…0,3%), сконцентровані вони переважно в насінні.

Біологічна цінність дикорослих плодів і ягід багато в чому визначається наявністю в них вітамінів та вітаміноподібних речовин. Це водо- та жиророзчинні вітаміни: аскорбінова кислота, вітаміни групи В (В1, В2, В6, РР та ін.), біофлавоноїди. Серед жиророзчинних вітамінів — А, D, Е, К. Міститься незначна кількість вітаміну D — 0,1…0,2 мкг/100 г. Вітамін Е стабілізує та захищає ненасичені ліпіди мембран від надлишкового окиснення, вітамін К сприяє згортанню крові (Горобець, 2019). Найбільше вітаміну К накопичують горобина, чорна смородина, шипшина, чорниця. Дикорослі плоди та ягоди являються джерелом мінеральних речовин, що відіграють важливу роль в обмінних процесах. Загальна кількість мінеральних речовин 0,2…0,54%. Це калій, натрій, кальцій, магній, які

дають початок лужним сполукам, регулюючи лужно-кислотну рівновагу. Дикорослі ягоди є основними постачальниками речовин вторинного синтезу — поліфенолів, ароматичних сполук — у харчовому раціоні людини.

Серед дикорослих ягід передусім слід назвати чорницю. Її смак приємний, кисло-солодкий, трохи в'яжучий (завдяки великому вмісту дубильних речовин — 0,13…0,31%). Забарвлення чорниці надає антоціан — мертилін. Чорниця містить вітаміни B1, B2, B6, B9, PP, D, до 15 мінеральних елементів, Р-вітамінноактивні речовини. Оскільки чорницю за існуючими технологіями не можна довго зберігати, її відразу переробляють на варення, сік, екстракт, джем, начинки (для пирогів, карамелі), сушать, заморожують або споживають свіжою (84). У лохини смак — слабо-кислуватий або прісний, серед БАР вітаміни С, В1, В2, Р, Е, К, каротини; близько 16 мінеральних елементів, антоціани, катехіни тощо. Лохину використовують для виробництва варення, соку, киселів, вина, їх також сушать. Чорна смородина, як і культивована, має антивірусну, антибактеріальну, антирадіаційну дію. Її ягоди кисло-солодкі, їх широко застосовують для приготування варення, соків, желе, мармеладу, джему, повидла, для вітамінних препаратів, лікерів, компотів, вин. Не менш цінними є дикорослі ягоди малини та ожини. Ягоди малини містять 5,7—11,5% цукру, 1—2% органічних кислот, 9,1—44 мг% вітаміну С. В ягодах ожини 4—8% цукрів, 0,8—1,4% органічних кислот, вітамін С, каротини. Сучасні технології недостатньо використовують багатогранний та цінний склад дикорослих. За традиційних способів їх консервування відзначаються суттєві втрати барвних і та інших БАР (20…80%), що призводить до зниження якості отриманих продуктів.

Викладені відомості показують, наскільки важливо технологічний процес перероблення плодово-ягідної сировини, в тому числі дикорослої, вести таким чином, щоб отримані з неї напівфабрикати та готові продукти зберегли практично всі цінні речовини, закладені в ній природою (за винятком видаленої вологи); щоб продукти зберігалися протягом тривалого часу без погіршення якості, могли швидко відновлюватись, не поступаючись за показниками свіжим плодам та ягодам.

Найбільш ґрунтовна інформація про дикорослі плоди і ягоди була узагальнена в монографії Віри Петрової, виданої в 1986 р. В цій фундаментальній роботі показано цінність дикорослої сировини як харчової, так і лікарської; дано якісний та кількісний склад основних біокомпонентів; описано закономірності їх зміни в процесі росту та умов зовнішнього середовища; простежено взаємозв'язки біосинтезу продуктів основного обміну і біологічно активних речовин в плодах залежно від вегетаційного періоду (Петрова, 1986). Із незрозумілих причин майже 20 років потому ця скарбниця знань не поповнювалась і лише останнім часом інтерес до дикорослої сировини набув належного значення. Свідченням цього є ґрунтовні праці у вигляді монографій (Одарченко, Кудряшов & Бабіч, 2014), статей (Павлюк & Дібрівська, 2006; Сімахіна & Науменко, 2020). І такі комплексні дослідження доповнюють дані згаданої монографії (Петрова, 1986), вкотре дають підстави стверджувати доцільність введення до сфери харчових технологій високовітамінні дикорослі плоди та ягоди у свіжому, сушеному та консервованому вигляді.

У зв'язку з біологічними особливостями плодово-ягідних культур, успішне їх зберігання в післязбиральний період досягається шляхом контролю умов зберігання (температура, вологість). Оптимальні для кожного виду сировини умови забезпечують не тільки стабільність її товарних якостей, а й основних біохімічних показників: кислотності, сухих речовин, вмісту вітаміну С та фенольних сполук тощо. Для зберігання непридатні як передчасно, так і пізно зібрані плоди (Гунько & Тринчук, 2017). Для зберігання і транспортування на значні відстані їх знімають з плодоніжками, без нанесення механічних травм, вкладають у плоскі кошики і транспортують до місця сортування і пакування. Товарне оброблення складається з: сортування, калібрування, упакування в тару, маркування.

Застосовують кілька режимів зберігання плодів: при знижених температурах у звичайних атмосферних умовах, у холодильнику з регульованим газовим середовищем (РГС) та в холодильнику в поєднанні з модифікованим газовим середовищем (МГС) (Слащева, Никифоров & Зирянов, 2018). Найкраще серед ягід (брусниці, аґрусу, чорниці, обліпихи, журавлини, смородини) зберігається журавлина, завдяки високому вмісту лимонної (2—3%) та бензойної (0,02%) кислот, які є консервантами. Брусницю й чорницю можна тривалий час зберігати в свіжому стані при температурі 0…–1°С та відносній вологості повітря не менше 90%. Ягоди чорної смородини, суниці не належать до сировини тривалого зберігання, але в холодильнику їх можна зберегти до 2—3 місяців (Заморська, Волкова & Сасс, 2020) у ящиках, кошиках, невеликих коробках і поліетиленових пакетах. Білу і червону смородину в лотках при температурі від 0°С до –1°С можна зберігати 10—15 діб (Слащева, Никифоров & Зирянов, 2018).

Малина і суниця при оптимальних умовах (температура 0...0,5°С, відносна вологість повітря 90...95%) зберігається лише кілька днів, а в камерах холодильника з регульованим газовим середовищем (CO_2 — 5...8%, O_2 — 3%, N_2 — 89...92%) при температурі 0...1°С і відносній вологості повітря 90…95% — 15 діб (93). Чорниця, лохина, брусниця добре зберігаються в МГС, створюваному в поліетиленових пакетах (товщина плівки 30...60 мкм): чорниця, лохина — до 15 діб, брусниця — до 2 міс.

У процесі зберігання ягід суниці спостерігали природне зменшення маси протягом 11 діб на 4,5—11,3%; втрати цукрів за цей час склали 23,3—35,5%, а органічних кислот — 31,6—35,8% (94). Втрати аскорбінової кислоти протягом місяця зберігання становлять 32,1—43,4% (95). Втрати вітамінів пояснюються негативним впливом зовнішніх чинників (кисень, світло, підвищена температура, мікробіологічні процеси у умовах високого вмісту води в плодах і ягодах), а втрати органічних кислот, пов'язані з інтенсивним диханням біооб'єктів, витрачанням кислот на частковий гідроліз сахарози до моносахаридів, дією кислотознижуючих бактерій і дріжджів, які розкладають яблучну кислоту на молочну та карбонову.

Висновки

Навіть короткий аналіз літературних джерел свідчить про великі втрати цінних компонентів плодово-ягідної сировини при зберіганні. А якщо враховувати

втрати сировини при збиранні, транспортуванні, переробленні, то за статистичними даними до столу українського споживача доходить лише 30—40% вирощеної продукції, в той час, як у передових країнах світу цей показник перевищує 80%. Тому для скорочення втрат сировини і її цінних біокомпонентів (передусім вітамінів) на всіх етапах «від поля до столу» необхідно розробляти і реалізувати нові, значно досконаліші технології перероблення і зберігання сільськогосподарської продукції, передусім використання низьких температур на всіх етапах виробництва, починаючи від вирощування сировини до отримання готової продукції.

На сьогодні констатовано незаперечні дані щодо зв'язку багатьох біологічно активних речовин у раціонах харчування і здоров'я людини, узагальнення й аналіз результатів яких привели до утвердження триєдиної системи «людина — біологічно активні речовини — здоров'я».

Ці результати стали теоретичною базою концепції здорового та функціонального харчування, а біологічно активні речовини, що забезпечують нутритивні потреби людини, у наповненні цих концепцій знайшли своє місце як функціональні інгредієнти.

Література

Горобець А. О. (2019). Вітаміни і мікроелементи як специфічні регулятори фізіологічних та метаболічних процесів в організмі дітей та підлітків. *Український журнал Перинатологія і Педіатрія,* 4(80), 75—92. http://doi.org/10.15574/PP.2019.80.75.

Гунько С. М., Тринчук О. О. (2017). *Перероблення грибів: теорія, практика та інновації*. Монографія. Київ: ЦП «Компринт».

Заморська І. Л., Волкова Т. В., & Сасс А. В. (2020). Інноваційні технології збереження якості замороженої суниці садової для виробництва харчової продукції. *Праці ТДАТУ*, 2, 202—210.

Капрельянц Л. В., & Петросьянц А. П. (2011). *Лікувально-профілактичні властивості харчових продуктів та основи дієтології:* монографія. Одеса: Друк.

Касіянчук В. Д., Ковач М. М., & Касіянчук М. В. (2013). Перспективи використання дикорослих плодів, ягід і грибів в умовах Прикарпаття для виготовлення продукції лікувально-профілактичного призначення. *Науковий вісник НЛТУ України,* 23—7, 151—156. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_7/151_Kas.pdf.

Корзун В. Н., Парац А. М. (2007). Проблема мікроелементів у харчуванні населення України та шляхи її вирішення. *Проблеми харчування*, 1(14), 5—11.

Левицкий А. П. (2004). Биофлавоноиды как модуляторы эстрогенной и остеогенной активности. *Вісник фармакології та фармації,* 2, 13—18.

Максютіна Н. Н., Пилипчук Л. Б. (2006). Рослинні антиоксиданти і пектини в лікуванні і профілактиці променевих уражень і детоксикації організму. *Фармацевтичний журнал*, 4, 35—41.

Одарченко Д. М., Кудряшов А. І. & Бабіч А. О. (2014). *Заморожені напівфабрикати з дикорослих ягід*: монографія. Харків: ХДУХТ.

Павлюк Р. Ю., Дібрівська Н. В. (2006). Комплексні дослідження під час розробки технології функціональних пастоподібних оздоровчих добавок із дикорослих ягід. *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Химия, химическая технология и экология,* 25, 154—159.

Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Радченко Л. О. та ін. (2019). Відкриття прихованих резервів плодоовочевої сировини під час виготовлення оздоровчих харчових продуктів для кулінарів

світу. *Scientific Journal "ScienceRise",* 5(58), 57—64. http://doi.org/10.15587/2313-8416.2019.168943.

Петрова В. П. (1985*). Особенности биохимического состава дикорастущих и интродуцированых на Украину дикоплодовых, их ценность как пищевого и лекарственного сырья*. Дис. докт. техн. наук. Одесса.

Петрова В. П. (1986). *Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений*. Киев: Вища школа.

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. (2020). Удосконалений спосіб отримання заморожених ягідних напівфабрикатів. *Харчова промисловість*, 27, 80—88. http://doi.org/10.24263/2225-2916-2020-27-11.

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Кочубей-Литвиненко О. В. (2022). *Кріоушкодження та кріозахист у холодових технологіях*: монографія. Київ: Сталь.

Сімахіна Г. О., Халапсіна С. В. (2017). Структурні і біохімічні зміни білкових сполук при заморожуванні дикорослих ягід. *Наукові праці Національного університету харчових технологій,* 23(2), 158—165. URL: http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/25270.

Слащева А. В., Никифоров Р. П., Зирянов В. В. (2018). Розробка технології напоїв на основі ягідних вичавок з підвищеним вмістом біофлавоноїдів. *Обладнання та технології харчових виробництв,* 36, 5—13. URL: http://elibrary.donnuet.edu.ua/1060/1/Slashcheva_article_26_06_2018.pdf.

Українець А. І., Сімахіна Г. О., Стеценко Н. О., Науменко Н. В. & Кочубей-Литвиненко О. В. (2017). *Нові продукти для раціонів військовослужбовців*: монографія. Київ: Сталь.

Хомич Г. П., Капрельянц Л. В. (2013). *Фенольні сполуки дикорослих плодів і ягід: склад, властивості, зміни при переробці*: монографія. Полтава: ПУЕТ.

Biesalski, R. A., & Schrezenmeir, J. (2007). Vitamine. Physiologie, Pathophysiologie. Therapie. Stuttgart-New York.

FAO/WHO (1992). Питание. Глобальные проблемы. *Международная конференция по питанию.* Рим.

Pacier, C., Martirosyan, D. (2016). Vitamin C: optimal dosages, supplementation and use in disease prevention. *Functional Foods in Health and Disease,* 5(3), 89—107. http://doi.org/10.31989/ffhd.v5i3.174.

УДК 641.1

MODERN INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF MEAT ANALOGUES FROM NON-TRADITIONAL PROTEIN SOURCES

I. Oshchypok
Lviv University of Trade and Economics

Key words:
Meat
Vegetable base
Cultivate,
Cell
Analogue
Protein

Article history:
Received 03.05.2022
Received in revised form 18.05.2022
Accepted 09.06.2022

Corresponding author:
I. Oshchypok
E-mail:
ihosh.ypok@gmail.com

ABSTRACT

The article discusses the application of growing cultured meat from stem cells of animal origin *in vitro* using a special medium. The expansion of these approaches to meat production with the help of cell and tissue culture, which can be called "cell agriculture", is shown. Cells used to initiate meat cell culture can be obtained from primary animal tissue by biopsy. Alternatively, populations of cells (stem cells) can be generated which can replicate indefinitely through genetic engineering, gene editing, or induced or spontaneous mutations. Cells are cultured in specific liquid media that provide the conditions necessary for tissue growth. The direct use of the medium will depend on the cell type and type of cultured tissue, but the process requires nutrients (such as those supplied by serum to the fetal animal from chicken embryo extract, collagen, serum-free medium, etc.). The used ingredients also affect the appearance, texture and taste of the cultured meat. Proteins of soy, wheat, peas and their by-products, as well as starches, flour, hydrocolloids and oils, can be transformed into meat of plant origin similar to animal meat. Both plant-based and cultured meat producers are shown to aim on delivering products which are difficult to distinguish from conventional meat.

Markets of meat analogues which are in Europe, North America and Asia are considered. Retail trade and catering companies are increasingly selling plant-based "meat". In this regard, there is a growing awareness that reduction in traditional meat consumption is necessary and desirable for the environment and the health of the population. The potential of plant-based meat, which is still at the stage of initial study, was revealed. Many possibilities for improving the production of meat from non-traditional protein are shown. The necessity of conducting research on optimizing the yield of protein-containing raw materials by breeding new varieties or developing equipment for obtaining increased protein content, supporting the further development and improvement of plant protein isolates and ultimately plant-based meats is indicated.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-11

СУЧАСНІ ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ АНАЛОГІВ М'ЯСА З НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ БІЛКА

І. М. Ощипок
Львівський торговельно-економічний університет

У статті розглянуто застосування вирощування культивованого м'яса із стовбурових клітин тваринного походження in vitro з використанням спеціального середовища, показано розширення цих підходів до виробництва м'яса за допомогою клітинної і тканинної культури, яку можна називати «клітинним землеробством». Клітини, які використовуються для ініціації культури м'ясних клітин, можуть бути отримані з первинної тканини тварин за допомогою біопсії. Також можна утворювати множини клітин (стовбурові клітини), які можуть реплікуватися необмежено за допомогою генної інженерії, редагуванням генів або шляхом індукованих чи спонтанних мутацій. Клітини культивуються в специфічних рідких середовищах, які забезпечують умови, необхідні для росту тканин. Пряме використання середовища буде залежати від виду клітин і типу культивованої тканини, але процес вимагає поживних речовин (таких, які постачаються сироваткою крові до плода тварини з екстракту курячого ембріона, колагену, середовища без сироватки тощо). Застосовувані інгредієнти також впливають на зовнішній вигляд, текстуру та смак культивованого м'яса. Білки сої, пшениці, гороху і продуктів його переробки, а також крохмалі, борошно, гідроколоїди та олії можуть трансформуватись у м'ясо рослинного походження, подібного до м'яса тварин. Показано, що виробники як рослинного м'яса, так і культивованого м'яса прагнуть постачати продукти, які важко відрізнити від звичайного м'яса.

Розглянуті ринки аналогів м'яса у Європі, Північній Америці та Азії. Роздрібна торгівля та підприємства харчування все частіше реалізовують рослинне «м'ясо». У зв'язку з тим зростає усвідомлення того, що для навколишнього середовища та здоров'я населення зменшення світового традиційного споживання м'яса є і необхідним, і бажаним. Розкрито потенціал м'яса рослинного походження, який ще знаходиться на стадії початкового вивчення. Показано багато можливостей для вдосконалення виробництва м'яса з нетрадиційного білка. Вказано на необхідність проведення досліджень з вивчення питань оптимізації врожайності білоквмісної сировини шляхом розведення нових сортів або розробки обладнання для отримання збільшеного вмісту білка, підтримання подальшого розвитку та вдосконалення ізолятів рослинних білків і, зрештою, м'яса на рослинній основі.

Ключові слова: *м'ясо, рослинна основа, культивоване, клітина, аналог, білок.*

Постановка проблеми. В останні роки значно зросли інвестиції у вивчення і розробку нетрадиційних джерел білка, виготовляються прямі імітаційні замінники м'яса традиційного виробництва. На основі розроблених технологій створюють такі продукти, які мають потенціал скорочення споживання традиційного м'яса без різких змін у харчовому статусі.

Через інтерес до рослинних продуктів їх ринок став чималим. Особливо це відчувається в США та Великій Британії: там м'ясо виготовляють не лише з стандартних бобових, але й із джек-фруту (екзотичного фрукту родом із тропіків), грибів і навіть кавуна (Mottet та ін., 2017).

Поки що рослинне м'ясо займає невелику частку продаж як у світі, так і в Україні, де на нього припадає менше 0,5% товарообігу, проте цей ринок має величезний потенціал.

Багато споживачів турбуються про своє здоров'я, намагаючись стежити за балансом білків-жирів-вуглеводів і зменшувати споживання смаженої їжі. Деякі помилково вважають, що здоровий раціон — це відмова від м'яса на користь продуктів рослинного походження. Варто пам'ятати, що рослинні білки засвоюються гірше за тваринні (Sexton, 2016). Клітинні оболонки складаються з клітковини, яку шлунковому соку складніше розщепити, а отже, й перетворити білки на поживні речовини для організму. Однак у ряді досліджень вказується на користь рослинного м'яса (Mottet та ін., 2017) порівняно зі звичайним. Стенфордський університет провів дослідження, в рамках якого науковці протягом восьми тижнів годували групу учасників рослинними замінниками м'яса. Вчені протягом усього періоду експерименту вимірювали показники крові та масу тіла. В результаті був зроблений однозначний висновок про те, що при переході на рослинне м'ясо:

- відчутно знижується рівень холестерину в крові;
- покращується індекс маси тіла;
- знижуються маркери крові, які відповідають за ризик серцево-судинних захворювань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Альтернатива м'ясу — нетрадиційні джерела білка, призначені для вживання та споживання, схожі на м'ясні продукти, доступні по всьому світу. Деякі з них вже давно доступні в певних регіонах. Наприклад, бренд замінника м'яса Quorn, запущений у Великій Британії в 1985 р., використовує технологію ферментації для створення мікопротеїну (типу одноклітинного білка) з ґрунтового гриба Fusarium (Wiebe, 2002) і добре зарекомендував себе на багатьох західних ринках. Білки комах, присутні на деяких азіатських ринках, використовуються все більше компаніями у Європі і Північній Америці (Verbeke та ін., 2015) в продуктах для споживання людиною та в кормах для тварин. У (Gerber & Foley, 2013) проаналізовано особливості обговорення харчування сьогодення, боротьбу зі зміною клімату через негативний вплив тваринництва (Mottet та ін., 2017), значну кількість викидів і можливість зменшення цих наслідків (Springmann та ін., 2018), перспективу утримання харчової системи в екологічних межах, глобальні виклики харчування та пандемію ожиріння (Popkin, Adair & Ng, 2012; Springmann та ін., 2018), податкову політику щодо червоного та іншого м'яса, дослідження оптимальних рівнів податків та пов'язаних з ними впливів на здоров'я (Stephens та ін., 2018).

Перші «м'ясні» продукти рослинного походження — це продукти, які безпосередньо використовують рослинні інгредієнти, що імітують м'ясо тваринного походження і розроблені таким чином, щоб їх було неможливо відрізнити від тваринного еквівалента. Проведення чіткої межі між рослинним «м'ясом» і рослинною альтернативою «м'яса» не є простим завданням. Відрізнити, на якому

етапі інноватори рослинного «м'яса» запатентували або прагнули запатентувати свої продукти та процеси, які полягають в універсальності та сенсорності досвіду приготування та прийому їжі, досить складно. Продукти реалізуються у вигляді обробленого м'яса — гамбургери, сосиски, фрикадельки, але відрізняються від більш поширених рослинних альтернатив м'яса тим, що містять нові інгредієнти або використовують інноваційні процеси, спрямовані на досягнення безпрецедентного результату високого ступеня імітації смаку, консистенції, зовнішнього вигляду та кулінарних якостей. Удосконалені бургери з яловичини на рослинній основі, наприклад, розроблені такими компаніями, як Beyond Meat, Impossible Foods і Moving Mountains, містять унікальні набори інгредієнтів, які в поєднанні створюють продукт, текстура якого нагадує типову структуру яловичого фаршу, має рожевий відтінок, який стає коричневим під час приготування, а при їжі виділяється сік.

Нині в Україну з аналогів м'яса надходять у замороженому стані два основних види каліфорнійської продукції Beyond Meat. Це бургерна котлета, яка аналогічна м'ясу яловичини і ковбаски — аналог свинини. В Україні кожна поставка завжди ретельно перевіряється, відправляється на склад і вже звідти м'ясо надходить до ресторанів і роздрібних точок продажу. Науково-технічної літератури з розробки, аналізу і застосування аналогів м'яса в Україні не знайдено. Виробники аналогів м'яса в Україні натепер відсутні.

Мета дослідження: провести огляд літературних джерел з питань виробництва аналогів м'яса, розглянути дві широкі категорії його аналогів — сучасне рослинне «м'ясо» та культивоване м'ясо особливо з огляду на радикальний відхід від традиційних м'ясних і не м'ясних різновидів, опрацювати схеми виробництва аналогів м'яса і складових технології його отримання.

Матеріали і методи. Рушійними принципами виробництва м'ясних різновидів продуктів є мімікрія та ефективність виробництва — принципи, визначені Марком Постом — новатором, який стоїть за першим вирощеним у лабораторії бургером у 2013 р., що є ключовою умовою для прийняття та індустріалізації альтернативних видів м'яса.

Здебільшого в альтернативних видах м'яса використовуються натуральні інгредієнти, такі як буряковий сік для досягнення потрібних якостей, тоді як «незбагненний» бургер (Impossible Burger) містить леггемоглобін (SLH) сої. SLH виділяють з кореня рослини сої, він подібний до гемоглобіну крові і міоглобіну м'язів. Ця молекула переносить кисень, що міститься в корінні бобових. Коли «незбагненний» бургер готують і їдять, SLH виділяється у вигляді рідини червоного відтінку — порівняно з міоглобіном, речовиною, яка «стікає» з яловичого фаршу, і надає металевий залізоподібний, а, отже, м'ясний аромат цьому продукту (Fraser, Shitut… & Klapholz, 2018).

Викладення основних результатів дослідження. Культивоване м'ясо вирощують *in vitro* із стовбурових клітин тваринного походження з використанням спеціального середовища для вирощування (рис. 1). Воно «біологічно еквівалентне» м'ясу, але його не забирають від живої тварини. Культивування м'яса включає біотехнологічні процеси, запозичені з регенеративної медицини (Post, 2013) (галузь медицини, спрямована на розробку способів регенерації клітин, тканин або органів), і спрямоване на розширення цих підходів до виробництва

м’яса за допомогою клітинної й тканинної культури, яку і можна називати «клітинним землеробством».

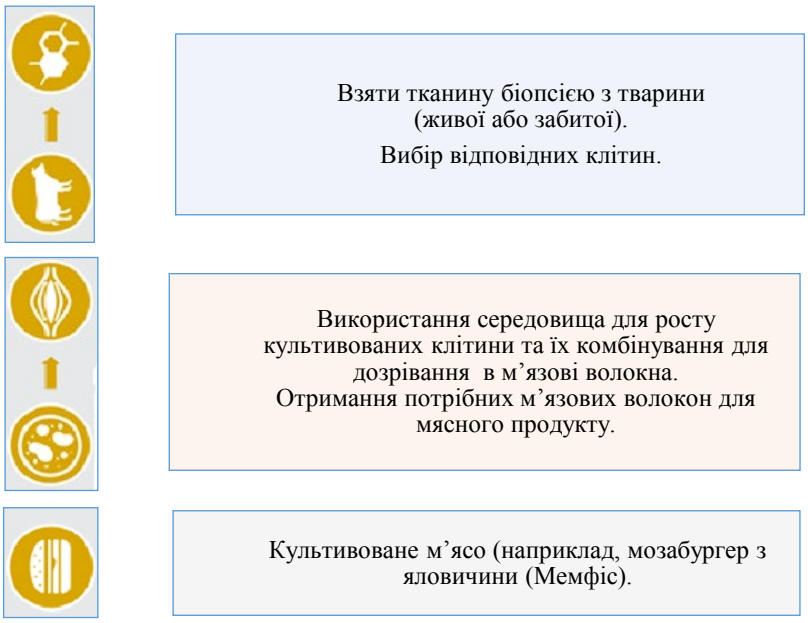


Рис. 1. Схема отримання аналогу культивованого м’яса

Хоча досі не досягнуто згоди щодо визначення цього процесу, «клітинне землеробство» передбачає використання «набору технологій для виробництва продуктів, які, зазвичай, отримують від худоби» (Post, 2012). Клітини, які використовуються для ініціації їх культури, можуть бути отримані з первинної тканини тварин процедурою біопсії, також можна утворювати клітинні лінії (стовбурові клітини), які можуть реплікуватися необмежено за допомогою генної інженерії, редагування генів або шляхом індукованих чи спонтанних мутацій. Клітини культивуються в специфічних рідких середовищах, які забезпечують умови, необхідні для росту тканин. Пряме використання середовища буде залежати від виду клітин і типу тканини, але процес вимагає поживних речовин (таких, які постачаються сироваткою крові до плоду тварини, екстракту курячого ембріона, колагену, середовище без сироватки тощо).

Інші неорганічні та органічні компоненти (антибіотики/антимітотики або вуглеводи, амінокислоти та вітаміни) можна додавати до середовища, щоб забезпечити ріст клітин. Для клітин потрібен каркас, щоб вони могли розмножуватись і розвиватись у структуру, необхідну для створення тканини (наприклад, м’язів)з неорганізованої сукупності м’язових клітин. Компоненти, що використовуються в цих процесах, залежать від стадій їх розвитку, але дослідження в цій галузі ще знаходяться в періоді становлення. Наприклад, навіть такі компанії, як Higher Steaks і Aleph Farms вже використовують вирощування без клітин тварин і живильного середовища, проте необхідні додаткові дослідження для зниження витрат на процеси такого виробництва.

Схему отримання аналогу м’яса рослинного походження показано на (рис. 2.)

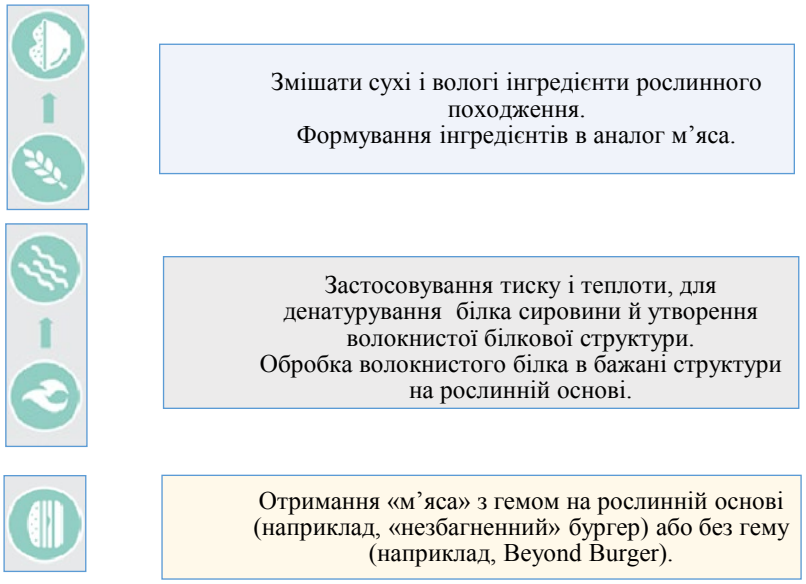


Рис. 2. Схема отримання аналогу м’яса рослинного походження

Рис. 3. Схема отримання аналогу м’яса рослинного походження з гемом

Дві початкові операції отримання аналогу м’яса рослинного походження з гемом показано на рис. 3, наступні операції — ідентичні показаним на рис. 2.

Зовнішній вигляд, текстура та смак — це три основні проблеми, з якими стикаються виробники харчових продуктів при переробці м’яса з вагомими ознаками на рослинній основі (рис. 4). Саме вони надають такому м’ясу характеристики його сутності.

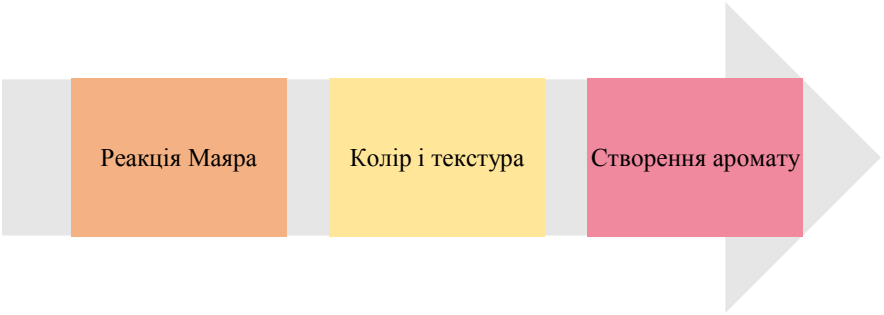


Рис. 4. Складові технології отримання культивованого м'яса

Відомо, як реакція Маяра відповідає за цей характерний «м'ясний» аромат і пікантний смак. Розуміння цього допомагає фахівцям розробляти продукти харчування, застосувавши їх у м'ясних продуктах рослинного походження. Коли м'ясо вариться, його текстура змінюється. Температура сковороди або гриля впливає на білкові структури. Коли білки починають руйнуватися, згортатися і стискатися, м'ясо м'якне.

Інгредієнти також впливають на зовнішній вигляд, текстуру та смак. Білки сої, пшениці, гороху і фави (перероблений білок гороху), а також крохмалі, борошно, гідроколоїди (незасвоювані вуглеводи, що використовуються як загусники, стабілізатори та емульгатори, або як затримувачі води та гелеутворюючі речовини) та олії, можуть трансформуватись в м'ясо рослинного походження, подібне до м'яса тварин.

Спосіб обробки також впливає на кінцеві характеристики продукту «екструзія з високим рівнем вологи» і «технології зсічених елементів» (Shear Cell Technology). Це два найпоширеніші процеси, що використовуються для перетворення рослинного білка в шарувату волокнисту структуру, яка точно відповідає зовнішньому вигляду й текстурі м'яса. Техніка екструзії забезпечує м'ясоподібний смак, але обробка способом «технології зсічених елементів» є більш енергоефективнішою і має менший вуглеводний слід.

Важливе значення для отримання аналогу м'яса мають колір і текстура, які можуть його імітувати під час та після варіння. Екстракт буряка, гранатовий порошок і соєвий легемоглобін доцільно використовувати для імітації червоного кольору свіжої або особливої яловичини (мармурової).

Текстуру тваринного білка важко відтворити за допомогою рослинних компонентів, оскільки рослини не мають м'язової структури. М'язи еластичні та гнучкі, тоді як рослинні клітини — жорсткі та незгинні. Рослини не мають присмаку і консистенції м'яса, тому овочеві бургери часто можуть відчуватись як розсипчасті та м'які. М'ясна рецептура на рослинній основі може бути отримана і мати рекомендовану кількість інгредієнтів та досягати харчових цілей, щоб відповідати м'ясу, але вона може не мати гарного смаку і мати неналежну консистенцію або присмак. Наприклад, картопляний білок утворює чудову текстуру, але він дуже гіркий. Вчені харчової промисловості намагаються знайти баланс між вмістом білка, текстурою та смаком.

Сектор громадського харчування також пропонує рослинні альтернативи м'яса. Beyond Burger вже продається в більш ніж 25 000 ресторанах, готелях та університетах по всьому світу. «Незбагненний» бургердоступний у більш ніж 4000 місць у США. Продукція фірми Moving Mountains користується значним попитом, налічує у Великій Британії 500 місць, які переповнені, також продукція доступна в Нідерландах. У регіональному плані Північна Америка буде домінувати на ринку культивованого м'яса у 2022 р., оскільки регіон характеризується значними інвестиціями у розвиток аналогів м'яса. Ринок також розширюється в Азії, оскільки Китай підписав у 2017 р. угоду про імпорт на суму 300 млн дол. США технології вирощування м'яса з Ізраїлю, а також участь японського уряду в травні 2018 р. в раунді фінансування в розмірі 2,7 млн дол. США для нового стартапу «чистого м'яса».

На головних західних ринках сектор роздрібної торгівлі реагує на це зростання та сприяє прийняттю рослинних альтернатив м'яса. Великі роздрібні магазини продуктів, що продають аналоги м'яса рослинного походження, включають британські Tesco, Sainsbury's, Waitrose & Partners і Ocado, а також Whole Foods, Target, Safeway, Kroger і Walmart у США. У всьому світі спостерігається збільшення кількості повністю веганських продуктових магазинів, які також служать каналами роздрібної торгівлі рослинними «м'ясними» продуктами: до них відноситься Naturalia Vegan (Франція), Sweet to Lick (США), Veganz (Німеччина та Чехія) і Vegan Supply (Канада). Певні бренди досягли успіху в проникненні на кілька ринків: нещодавно запущений завод Beyond Meat Beyond Burger у Tesco, найбільшому роздрібному супермаркеті Великої Британії, з тими ж виробами і ринковою стратегією, що використовується в США, згідно з якою продукти рослинного походження продаються разом із котлетами з м'яса тварин.

За оцінками, вартість світового ринку культивованого м'яса може досягти 20 млн дол. США до 2027 р. насамперед через збільшення його споживання та інновацій, необхідних для технологій розширеного виробництва культивованого м'яса від лабораторних досліджень до заводського виробництва.

Висновки

Дві широкі категорії аналогів м'яса — сучасне рослинне «м'ясо» та культивоване м'ясо, візначають особливий радикальний відхід від традиційних м'ясних і не м'ясних продуктів. Виробники як рослинного «м'яса», так і культивованого «м'яса» прагнуть постачати продукти, найбільш наближені до звичайного м'яса. Ринки аналогів м'яса зростають у Європі, Північній Америці та Азії, де обидві категорії мають тенденції до розширення як у роздрібній торгівлі, так і на підприємствах харчування, де все частіше продають рослинне «м'ясо». Культивоване м'ясо слабо представлене на ринку, але значне збільшення інвестицій, які спостерігаються в Європі, Північній Америки, Китаї та Ізраїлі, в найближчому майбутньому розширить його споживання.

З огляду на це зростає усвідомленням того, що для навколишнього середовища та здоров'я населення є і необхідним, і бажаним скорочення світового споживання традиційного м'яса. Нові методи виробництва культивованого м'яса все ще розробляються і вдосконалюються, з'являються нові технології, такі як 3D друк. Можна очікувати, як м'ясні продукти на основі рослинного походження

з'являться у продажі найближчим часом, завдяки чому скоротиться споживання натуральних яловичих стейків. Розкриття потенціалу м'яса рослинного походження знаходиться на стадії початкового вивчення. Існує ще багато можливостей для вдосконалення. Проводяться постійні дослідження, де вивчають оптимізацію врожайності шляхом розведення нових сортів рослин або розробки обладнання для отримання збільшеного виходу вмісту білка, здійснюється підтримка подальшого розвитку та вдосконалення виробництва ізолятів рослинних білків і, зрештою, м'яса на рослинній основі.

Світовий ринок рослинних альтернатив м'яса оцінювався в 4,63 млрд дол. США у 2018 р., за прогнозами Research and Markets, досягне 6,43 млрд дол. США до 2023 року (за сукупними річними темпами зростання — CAGR — 6,8%). Ці домінанти викликають складні запитання у виробників, політиків і споживачів щодо того, як пропоновані аналоги «м'яса» мають позначатися та регулюватися, а також щодо можливості задоволення зростаючого світового попиту на м'ясо при різкому скороченні тваринництва.

Література

Gerber, J. S. and Foley, J. S. (2013). Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters*, 8(3). https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034015/.

Fraser, R. Z., Shitut, M., Agrawal, P., Mendes, O. and Klapholz, S. (2018). Safety Evaluation of Soy Leghemoglobin Protein Preparation Derived from Pichia pastoris, Intended for Use as a Flavor Catalyst in Plant-Based Meat. *International Journal of Toxicology,* 37(3): 241—262. https://doi.org/10.1177/10915818187663181.

Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C. and Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security,* 14*:* pp. 1—8. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001.

Popkin, B. M., Adair, L. S. and Ng, S. W. (2012). Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition Reviews,* 70(1): 2—21. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x.

Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science,* 92(3): 297—301. https://doi.org/10.1016/j. meatsci.2012.04.008.

Post, M. J. (2013). Cultured beef: Medical technology to produce food. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 94(6), 1039—1041. https://doi.org/10.1002/jsfa.6474.

Sexton, A. (2016). Alternative Proteins and the (Non)Stuff of "Meat". *Gastronomica: The Journal of Critical Food Studies,* 16(3): 66—78. https://doi.org/10.1525/GFC.2016.16.3.66.

Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herreo, M., Carlson, K. M. and Jonell, M. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature,* 562*:* 19—25. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0.

Springmann, M., Mason-D'Croz, D., Robinson, S., Wiebe, K., Godfray, H. C. J., Rayner, M. and Scarborough, P. (2018). Health-motivated taxes on red and processed meat: A modelling study on optimal tax levels and associated health impacts. *PLoS ONE,* 13(11), 1—16. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0204139.

Stephens, N., Dunsford, I., Di Silvio, L., Ellis, M., Glencross, A. and Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, sociopolitical, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology,* 78: 155—166. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010.

Verbeke, W., Spranghers, T., De Clercq, P., De Smet, S., Sas, B. and Eeckhout, M. (2015). Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. *Animal Feed Science and Technology,* 204*:*72—87. https://doi.org/10.1016/j. anifeedsci. 2015.04.001.

Wiebe, M. G. (2002). Myco-protein from Fusarium venenatum: A well-established product for human consumption. *Applied Microbiology and Biotechnology,* 58(4): 421—427. https://doi.org/10.1007/s00253-002-0931-x/.

УДК 577.16:[634.233:551.515]

EFFECT OF PRE-TREATMENT OF CHERRY FRUITS WITH CARAGENANE SOLUTION ON THEIR TECHNOLOGICAL QUALITY

O. Vasylyshyna
Uman National University of Horticulture

Key words:
Storage
Cherry fruits
Respiration rate
Marketable quality

Article history:
Received 16.05.2022
Received in revised form 02.06.2022
Accepted 15.06.2022

Corresponding author:
O. Vasylyshyna
E-mail:
elenamila@i.ua

ABSTRACT

The article presents the influence of pre-treatment of cherry fruits with carrageenan solution on their commodity evaluation and respiration intensity.

The problem of storage of small-fruited stone fruits, including cherries, is relevant. Great importance is attached to new storage technologies with the involvement of pre-treatment of fruits with environmentally friendly substances. Studies of the influence of polysaccharides (chitosan, carrageenan) on the quality and stability of fruits show a positive effect of post-harvest treatment. Polysaccharides as a coating help to retain moisture in the tissues of fruits and vegetables and improve their quality during storage. Therefore, they are recommended to extend the shelf life and improve fruit quality.

"Alpha" and "Pamiat Artemenko" varieties of cherries of the same color were selected for research and washed. The fruits were treated with a solution of carrageenan according to the options: without treatment (control sample), treated with solutions of carrageenan 1% and 2% concentration. The cherry fruits were immersed in the pre-prepared solutions, kept for 1—2 minutes, removed, allowed to drain and dried with a stream of air created artificially by a fan. Test and control samples were placed into boxes and stored at a temperature of 1.0±0.5°C at a relative humidity of 95.0±1.0%.

Studies showed that the marketable quality of refrigerated storage and processing of cherry fruits with 2% carrageenan solution for 28 days was 90.3 and 91.3%, while the technical shortage decreased to 6.4—5.3%, and the absolute waste — 3.3—3.4%.

Respiration rate after 15 days of storage decreased by 42.9% and by the end of storage for fruits treated with 2% carrageenan solution remained at least 12.5—22.2%.

Therefore, it is necessary to conduct further research on the storage of fruits pre-treated with a solution of carrageenan to determine the marketable, physicochemical and biochemical parameters.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-12

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ РОЗЧИНОМ КАРАГЕНАНУ НА ТЕХНОЛОГІЧНУ ЯКІСТЬ ПЛОДІВ ВИШНІ

О. В. Василишина
Уманський національний університет садівництва

У статті досліджено вплив попередньої обробки розчином карагенану на товарну оцінку та інтенсивність дихання плодів вишні.

Проблема зберігання малолежких плодів кісточкових, зокрема вишні, є актуальною. Нині велике значення надається новим технологіям зберігання із залученням попередньої обробки плодів екологічно чистими речовинами. Дослідження показують позитивний вплив полісахаридів (хітозану, карагенану), на якість та стійкість плодів шляхом обробки після збору врожаю. Полісахариди як покриття сприяють збереженню вологи в тканинах плодів та овочів і поліпшують якість протягом зберігання, тому їх рекомендують для продовження терміну зберігання та покращення якості плодів.

Для проведення досліджень відбирали плоди вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка одного кольору, які сортували, мили. Плоди обробляли розчином карагенану 1% та 2% концентрації, як контроль служили необроблені плоди вишні. В попередньо приготовлені розчини занурювали плоди вишні, витримували 1—2 хв, виймали, давали стекти та сушили потоком повітря, створеного штучно вентилятором. Дослідні та контрольні зразки поміщали в ящики і зберігали за температури 1,0±0,5°С за відносної вологості повітря 95,0±1,0%.

Дослідженнями встановлено, що товарна якість за холодильного зберігання та обробки плодів вишні 2% розчином карагенану протягом 28 діб складала 90,3 і 91,3% при цьому технічний брак зменшився до 6,4—5,3%, а абсолютний відхід — 3,3—3,4%.

Інтенсивність дихання після 15-добового зберігання знизилась на 42,9% і до кінця зберігання для плодів, оброблених 2% розчином карагенану, залишалась найменшою (12,5—22,2%).

Перспективою подальших досліджень із зберігання плодів вишні, попередньо оброблених розчином карагенану, є визначення товарних, фізико-хімічних і біохімічних показників.

Ключові слова: *зберігання, плоди вишні, інтенсивність дихання, товарна якість.*

Постановка проблеми. Проблема тривалого зберігання малолежких плодів вишні є актуальною не тільки в Україні а й світі. Значна увага при цьому приділяється розробці нових технологій зберігання плодів із застосуванням попередньої обробки екологічно чистими речовинами, до яких відносяться полісахариди (хітозан, карагенан). Хітозан як стійке покриття сприяє збереженню вологи в тканинах плодів та овочів і поліпшує їх якість протягом зберігання. Хітозанове

покриття ефективне для продовження терміну зберігання та покращення якості плодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження показують позитивний вплив хітозану на якість та стійкість плодів шляхом застосування спрею або обробки після збору врожаю. Збільшення концентрації хітозанового покриття позитивно впливає на якість плодів після збирання.

У (Shiri, Ghasemnezhad, Bakhshi & Sarikhani, 2013; Chang та ін., 2019) показано, що обробка плодів сливи хітозаном в умовах низькотемпературного зберігання ефективно запобігає втратам якості і збільшує тривалість зберігання до 35 діб.

Карагенан є аніонним лінійним полісахаридом, який отримують з червоних морських водоростей. Існує три види карагенану, такі як каппа, йота і лямбда з різними кількостями і знаходженням сульфат груп на димері галактози. Утворюється карагенан гелеутворенням шляхом помірного сушіння. Після випаровування розчинника полісахарид подвійні спіралі утворюють тривимірну сітку, яка згодом перетворюється в тверду плівку (Lin, Lasekan, Saari & Khairunniza-Bejo, 2018).

Дослідження показали, що комбінація харчових покриттів з іншими методами зберігання та консервування покращила якість свіжих плодів (Rhim, 2004; Vasylyshyna, 2018, 2020; Dung, 2020). Зокрема, використання низьких доз ультрафіолетового випромінювання (254 нм) здатне індукувати стійкість плодів і овочів до мікробіологічних гнилей, біосинтез декількох вторинних метаболітів і затримку процесу дозрівання, продовжити строк їх зберігання. Крім того, дослідження дали змогу встановити, що комбінація ультрафіолетового опромінення з іншими методами консервування дала змогу підтримати якість свіжих плодів. Було встановлено, що ультрафіолетове опромінення в поєднанні з хітозановим покриттям є ефективним методом і може застосовуватися для післязбиральної обробки та зберігання плодів (Bal, 2019; Василишина, 2019, 2020).

Під час холодильного зберігання в процесі післязбиральної обробки у швидкопсувних плодах кісточкових зменшується швидкість основних обмінних процесів, підтримується якість і подовжується збереженість плодів вишні. Разом із пониженими температурами післязбиральна обробка плодів різними речовинами дає змогу підтримати їхню якість і зберегти свіжість. Використання для післязбиральної обробки різних покриттів дає змогу встановити фізичні бар'єри на поверхні плодів, зменшуючи проникність до O_2, CO_2 і водяної пари, що спричиняє зниження частоти дихання і транспірації та гальмування природного фізіологічного процесу дозрівання (Youwei &Yinzhe, 2013).

Мета статті: встановлення товарної якості та інтенсивності дихання плодів вишні за обробки розчином карагенану.

Матеріали і методи. Для експериментальних досліджень впродовж 2019—2020 років відбирали плоди вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка одного кольору, які сортували, мили та висушували.

Дослідні зразки покривали розчином, до складу якого входив карагенан (1—2 г/100 мл розчину), гліцерин (0,6 г/100 мл) розчину за варіантами: без обробки (контроль) та оброблені розчинами карагенану 1% та 2% концентрації.

Для розчинення суміш нагрівали при 80°С при перемішуванні 30 хв, охолоджували. В приготовлений розчин занурювали плоди вишні, витримували 1—2 хв, виймали, давали стекти та сушили потоком повітря, створеного штучно вентилятором.

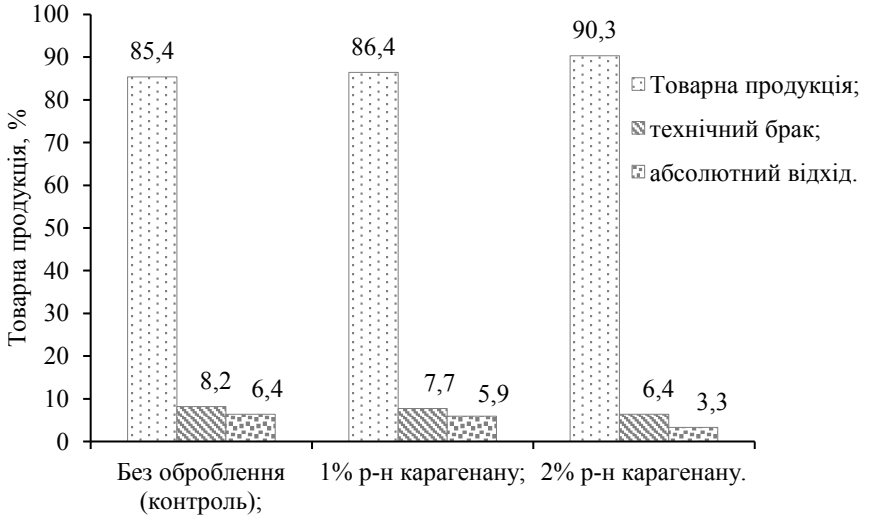
Дослідні та контрольні зразки плодів поміщали в ящики і зберігали за температури 1,0±0,5°С і відносної вологості повітря 95,0±1,0% (Найченко, 2001).

Визначення товарної якості та інтенсивності дихання плодів проводили в трикратній повторюваності (ДСТУ 8325:2015). Математичну обробку даних проводили за В. Ф. Мойсейченком (1992) на персональному комп'ютері за програмою «Excel 2000».

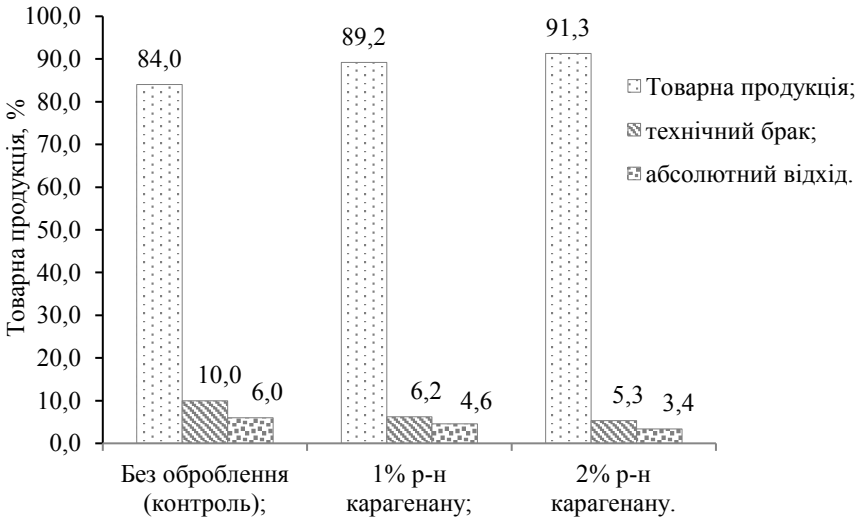
Викладення основних результатів досліджень. Крім полісахаридних покриттів на основі хітозану, нині значного поширення набули карагенанові покриття (Nasrin, Rahman, Hossain, Islam & Arfin, 2017). Плоди вишні, покриті розчином карагенану, зберігали блиск до 28 діб, тоді як необроблені контрольні плоди втрачали його вже на 15 добу зберігання. Оскільки втрата маси відбувається в результаті дихання, вивільнення вологи та проходження процесів окиснення в плодах маса плодів протягом зберігання зазнає істотних змін (Seymour, Taylor & Tucker, 1993).

Вихід товарної продукції (рис. 1) плодів вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка після зберігання впродовж 15 діб склав 84,0—85,4%.

Після обробки 1% розчином карагенану товарність плодів вишні неістотно була вищою 86,4 і 89,2%. За обробки 2% розчином вона була найвищою і складала 90,3 і 91,3%. Також в оброблених 1 і 2% розчином карагенану плодах вишні кількість технічного браку зменшилась до 7,7—6,2% і 6,4—5,3%, а абсолютний брак склав 5,9—4,6 і 3,3—3,4% відповідно.



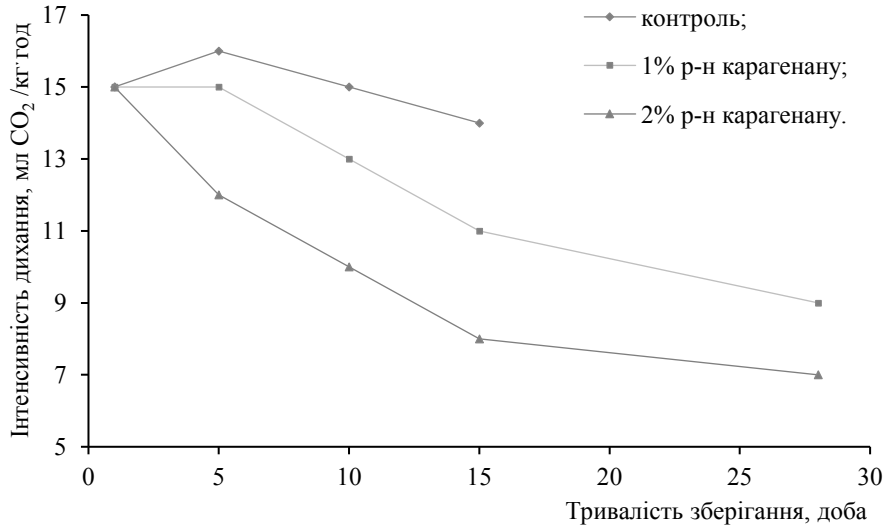
А



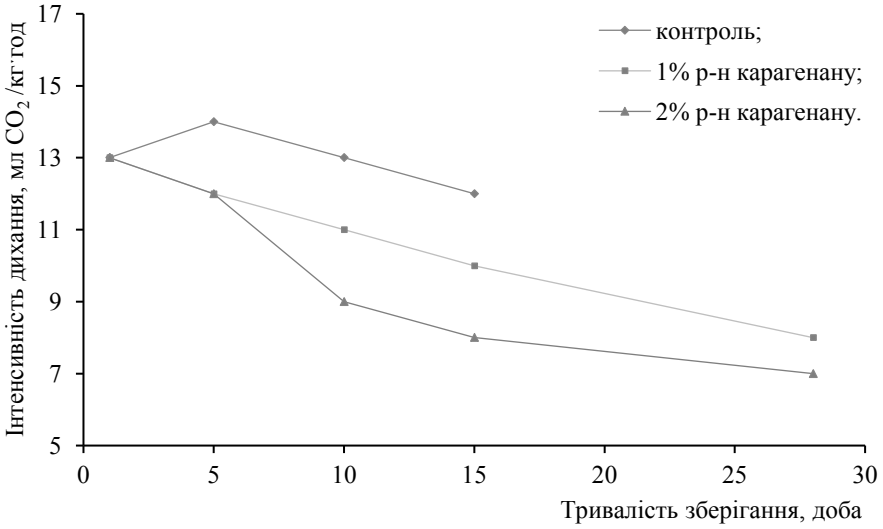
Б

Рис. 1. Вихід товарної продукції плодів вишні сортів: А) Альфа та Б) Пам'ять Артеменка після зберігання ($НІР_{05}$ товарної продукції = 4,0; $НІР_{05}$ технічний брак = 0,4; $НІР_{05}$ абсолютний відхід = 0,2)

Інтенсивність дихання протягом всього періоду зберігання (рис. 2) плодів вишні змінювалась і меншою була за їхнього оброблення. Так, після 15 добового зберігання за обробки 1 і 2% розчином карагенану інтенсивність дихання зменшилась на 16—42,9%.



А



Б

Рис. 2. Зміна інтенсивності дихання в плодах вишні сортів Альфа (А) та Пам'ять Артеменка (Б), оброблених розчином карагенану перед зберіганням ($НІР_{05}$ = 0,4)

На кінець зберігання вона знизилась на 33,3—42,9%, а найменшою залишалась для плодів, оброблених 2% розчином — 12,5—22,2%.

Разом із зниженням інтенсивності дихання плодів протягом зберігання сповільнювались й усі біохімічні процеси, тому втрати вмісту компонентів хімічного складу були незначними.

Інтенсивність дихання плодів позитивно корелює з тепловиділенням при зберіганні. Попередня обробка плодів речовинами антиоксидантної дії зменшує інтенсивність дихання плодів, а також тепловиділення (Сердюк, Гапріндашвілі & Байбєрова, 2017).

Висновки

Отже, товарна якість за обробки плодів вишні 2% розчином карагенану та холодильного зберігання протягом 28 діб складала 90,3 і 91,3%. В оброблених 2% розчином карагенану плодах вишні технічний брак зменшився до 6,4—5,3%, а абсолютний відхід — 3,3—3,4%.

Інтенсивність дихання знизилась після 15 добового зберігання на 42,9% і до кінця зберігання найменшою залишалась для плодів, оброблених 2% розчином карагенану 12,5—22,2%.

Перспективою подальших досліджень є проведення досліджень із зберігання плодів та визначення фізико-хімічних s біохімічних показників якості.

Література

Василишина, О. В. (2019). Оптимізація зберігання плодів вишні з попередньою обробкою розчином хітозану. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, № 3(103), 80—87. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3(103)-10.

Василишина, О. В. (2020). Вплив післязбиральної обробки композицією хітозану та саліцилової кислоти на плоди вишні після зберігання. *Агробіологія,* 1(157), 13—20. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-13-19.

Вишня свіжа. Технічні умови: ДСТУ 8325:2015. [Введ. в дію 1.07.2017]. 7 с.

Мойсейченко, В. Ф. (1992). *Основи наукових досліджень у плодівництві, овочівництві, виноградарстві та технології зберігання плодоовочевої продукції.* Київ: НМК ВО.

Найченко, В. М. (2001). *Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства*: навчальний посібник. Київ: ФАДА ЛТД.

Сердюк, М. Є., Гапріндашвілі, Н. А., Байбєрова, С. С. (2017). Кінетика інтенсивності дихання плодів яблуні за обробки антиоксидантними композиціями. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*, 17(1). 150—157.

Bal, E. (2019). Influence of Chitosan-Based Coatings with UV Irradiation on quality of strawberry fruit during cold storage. *Turkish Journal of Agriculture. Food Science and Technology*, 7(2), 275—281. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i2.275-281.2252.

Chang, X., Lu, Y., Li, Q., Lin, Z.,Qui, J., Peng, C., Brennan, C. S, Guo, X. (2019). The combination of hot air and chitosan treatments on phytochemical changes during postharvest storage of 'Sanhua' plum fruits. *Foods*, 8(8), 338. https://doi.org/10.3390/foods8080338.

Dung, B. T. P. (2020). Combination of heat treatment, chitosan coating and modified atmosphere packaging to improve post-harvest quality of da bo longan fruit. *Journal of Science Technology and Food*, 20(1), 26—36.

Lin, M. G., Lasekan, O., Saari, N. & Khairunniza-Bejo, S. (2018). Effect of chitosan and carrageenan-based edible coatings on post-harvested longan (*Dimocarpus longan*) fruits, CyTA. *Journal of Food*, 16:1, 490—497, https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1414078.

Nasrin, T. A. A., Rahman, M. A., Hossain, M. A., Islam, M. N., Arfin, M. S. (2017). Postharvest quality responseof strawberries with aloe vera coating during refrigerated storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 92, 1—8. https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1324326.

Rhim, J.-W. (2004). Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT Food Science and Technology*, 37, 323—330. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.09.008.

Seymour, G. B., Taylor, J. E., Tucker, G. A. (1993) Biochemistry of Fruit Ripening. Chapman and Hall: London, 347—373.

Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D., Sarikhani, H. (2013). Effect of postharvest putrescine application and chitosan coating on maintaining quality of table grape cv. “Shahroudi” during long-term storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 999—1007. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00735.x.

Vasylyshyna, O. (2020). Changing the antioxidant activity of cherry fruits during storage by means of pre-treatment with polysaccharide compositions. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov*, 13(62). № 2, 157—164. https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.2.14.

Vasylyshyna. O. V. (2018). The quality of sour cherry fruits (*Prunus cerasus L.*), treated with chitosan solution before storage. *Acta agriculturae Slovenica*, 111(3), 633—637. https://doi.org/10.14720/aas.2018.111.3.11.

Youwei, Y., Yinzhe, R. (2013). Effect of chitosan coating on preserving character of post-harvest fruit and vegetable: a review. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(8), 254—257. https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000254.

УДК 664.8.047

THEORETICAL ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF PROCESSING BLUEBERRY BERRIES BY KNOWN DRYING METHODS

Zh. Petrova, K. Slobodianiuk, O. Grakov
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:
Drying
Blueberry
Infrared radiation
Convection
Vacuum
Sublimation

Article history:
Received 11.05.2022
Received in revised form 25.05.2022
Accepted 13.06.2022

Corresponding author:
K. Slobodianiuk
E-mail:
slobod_katya@ukr.net

ABSTRACT

Over the past 20 years, the volume of trade in berries has increased 9 times and the latter has become a product of mass consumption. Ukraine's berry industry is one of the most dynamic in terms of export growth in the agricultural sector. Over the past few years, Ukraine has become one of the largest European producers of blueberries. Blueberries have a short shelf life. This problem is mostly solved by the fact that blueberries are frozen and in this state the export of frozen berry products to the European Union is more active.

Drying of colloidal capillary-porous materials (berries, fruits and vegetables) is one of the most common methods of processing because it reduces the activity of water and microbiological transformations in the product, reduces weight and volume, and minimizes physical and chemical losses during storage. Drying processes are one of the most energy-intensive technological processes and, given the high cost of energy resources, significantly affect the economic performance of production.

The aim of the article was to analyze the current state of production and processing of blueberries in Ukraine and the world, as well as based on existing data to analyze the specific energy consumption of known drying methods.

Theoretical analysis of existing research on the processing of blueberries into dried products showed that foreign researchers in most cases prefer more energy-intensive drying methods: vacuum, freeze-drying and their combination with each other and with classical convective drying. Infrared drying is employed as a pre-treatment and is not recommended as a classic method of drying blueberries, as it causes deterioration of the final product. All studies, especially the preliminary stage, were carried out in the laboratory and have not been tested on industrial equipment. Thus, the question arises to develop efficient preparation and energy-efficient heat technology for drying blueberries on an industrial scale.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-13

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕРОБКИ ЯГІД ЛОХИНИ ВІДОМИМИ МЕТОДАМИ СУШІННЯ

Ж. О. Петрова, К. С. Слободянюк, О. П. Граков
Інститут технічної теплофізики НАН України

За останні 20 років обсяги торгівлі ягодами, які перетворилися на продукт масового споживання, зросли у 9 разів. Ягідна галузь України є однією з найбільш динамічних за рівнем зростання експорту в аграрному секторі. За кілька останніх років Україна стала одним з найбільших європейських виробників лохини. Ягоди лохини мають короткий термін зберігання, тому їх заморожують. У такому стані більш активно відбувається експорт замороженої ягідної продукції до країн Євросоюзу.

Сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів (ягід, фруктів та овочів) — один із найбільш поширених способів переробки, оскільки знижує активність води та мікробіологічних перетворень у продукті, зменшує вагу та об'єм, а також мінімізує фізико-хімічні втрати корисних речовин при зберіганні. Сушильні процеси є одними з найбільш енергоємних технологічних процесів і, враховуючи високу вартість енергоресурсів, значною мірою впливають на економічні показники виробництва.

У статті проаналізовано сучасний стан вирощування і переробки ягід лохини в Україні та світі, а також на основі існуючих даних виконано аналіз питомого енергоспоживання відомих методів сушіння.

Теоретичний аналіз існуючих досліджень, присвячених переробці ягід лохини на сушену продукцію, показав, що зарубіжні дослідники у більшості випадків надають перевагу більш енергоємним методам сушіння: вакуумному, сублімаційному та їх комбінуванню між собою і з класичним конвективним сушінням. Інфрачервоне сушіння застосовується як попередня підготовка і не рекомендується як класичний метод сушіння ягід лохини, оскільки викликає погіршення якості кінцевого продукту переробки. Всі дослідження, особливо етап попередньої підготовки, реалізовані в лабораторних умовах і не були апробовані на промисловому обладнанні. Отже, постає питання ефективної підготовки та розробки енергоефективної теплотехнології сушіння ягід лохини в промислових масштабах.

Ключові слова: *сушіння, лохина, інфрачервоне випромінювання, конвекція, вакуум, сублімація.*

Постановка проблеми. Обсяги торгівлі кісточковими фруктами у світі, починаючи з 2001 р., зросли у 4 рази, зерняткових фруктів — у 3 рази, ягід — у 9 разів (Кухтіна, 2020). За цей період ягоди перетворилися на продукт масового споживання (Галат, 2021).

Ягідна галузь України — одна з найбільш динамічних в аграрному секторі і за рівнем зростання експорту. З кожним роком валове виробництво та урожайність ягідних культур в Україні зростає, динаміка приросту представлена на рис. 1. За даними Державної служби статистики України за період з 2014 р. по 2018 р. експорт свіжих і заморожених ягід зріз приблизно вп'ятеро. Якщо в 2014 р. вітчизняні ягоди компанії експортували за кордон близько 4,5 тонни свіжої продукції на загальну суму понад 7 млн дол. США, то у 2018 р. обсяг становив майже 23,5 тонни, а грошовий еквівалент перевищив позначку 33 млн дол. США (Балан, 2019).

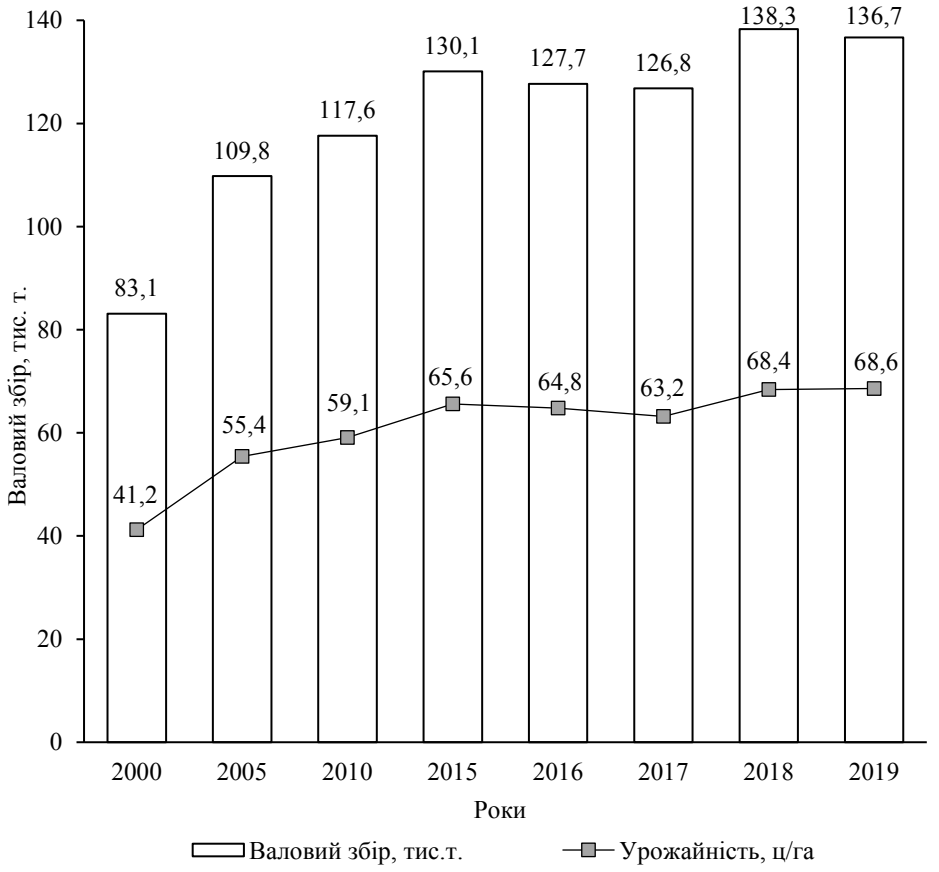


Рис. 1. Валове виробництво та урожайність ягідних культур в Україні за роками

Суттєві зміни відбуваються у вирощуванні лохини. Лохина (*Vaccinium corymbosum L.*) набула популярності серед споживачів через результати досліджень, які пов'язують її споживання з покращенням здоров'я людини (Tamás, 2021). Лохина має високий вміст антиоксидантних з'єднань (флавоноїдів і антоціанів) і вітамінів A, B, C і E, добре відома своїми протипухлинними, протизапальними та протидіабетичними властивостями (Tamás, 2021).

Інформація про поживну цінність лохини представлена в табл. 1 (Mazza, 2005; Satanina, 2011).

Цукор є основним компонентом лохини, вміст сухих розчинних речовин становить 65%. До хімічного складу лохини входить майже однакова кількість глюкози та фруктози, не містить сахарози. Як і всі фрукти та ягоди, лохина є хорошим джерелом харчових волокон (2,4% свіжої маси). Лохина не дуже багате джерело вітамінів і мінералів, однак свіжа ягода містить досить велику кількість вітаміну С (Satanina, 2011). Високий вміст марганцю (0,34 мг/100 г FW, *USDA Nutrient Database*) робить лохину чудовим джерелом цього мінералу (Satanina, 2011).

Таблиця 1. **Поживна цінність лохини**

№ п/п	Склад	Вміст, мг/100 г свіжої маси
1	Волога	84,65
2	Білки	0,74
3	Ліпіди	0,42
4	Цукри	9,96
5	Харчові волокна	2,41
6	Пектин	0,60
7	Кислоти	0,51
8	Вітаміни/мінерали	0,12
9	Поліфеноли	0,40
10	Інше	0,29

За кілька останніх років Україна стала одним з найбільших європейських виробників лохини та світовим лідером за темпами зростання площ під її насадженнями (Поперечна, 2020).

За 12 років, з 2007 р. площі комерційних насаджень зросли з 134 га до 2758 га — майже у 20 разів (рис. 2) (Поперечна, 2020).

Серед м'яких ягід, що культивуються в Україні, в останній час лохина високорослa здобула найбільшу прихильність у комерційних товаровиробників та має більші експортні перспективи через низку переваг: зростаючий попит на ягоди лохини на найближчому до України свіжому ринку ягід — ринку ЄС; має комерційні переваги — серед ягід, що культивують в Україні, лохина краще зберігається, більш транспортабельна; насадження лохини високорослої плодоносять 50—60 років; збирання ягід можливе машинним способом; у поточний період ціни на лохину в Україні та і у світі найвищі, як наслідок, висока маржинальність (Галат, 2021).

Однак, попри зростання експорту ягідної продукції, обсяги експорту свіжих ягід в останні роки з України не значні, його географія обмежується переважно країнами сусідами. Головним споживачем більшості товарної продукції, як і раніше, виступає Польща, що скоріше за все свідчить про її подальший перепродаж у треті країни або на подальшу переробку (Галат, 2021).

Ягоди лохини мають короткий термін зберігання, тому лохину заморожують і в такому стані більш активно відбувається експорт замороженої ягідної продукції до країн Євросоюзу: Польщі, Німеччини, Чехії, Литви, Франції, Італії тощо. За цим каналом збуту за п'ять років по більшості країн відбулося зростання у 2—3 рази. Втім у 2019 р. сукупний обсяг експорту ягідної продукції (свіжої і замороженої) склав близько 10% від валового виробництва ягід в Україні (Галат, 2021).

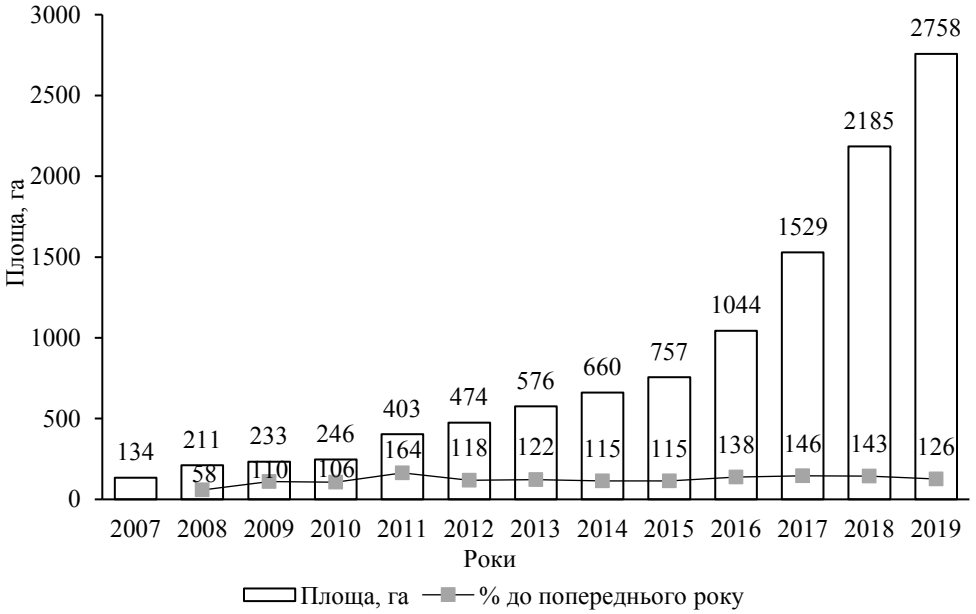


Рис. 2. Динаміка закладання площ лохини садової в Україні за роками

Варто зазначити, що таким ягодам, як ожина, лохина, полуниця, журавлина та малина приділяється велика увага через їх позитивний вплив на здоров'я та профілактику захворювань людей (Brownmiller та ін, 2008; Fracassetti та ін., 2013). Також вчені стверджують, що саме вміст в них поліфенолів, зокрема антоціанів, відповідає за запобігання різних захворювань (Fracassetti та ін., 2013; Routray та ін., 2011).

Антоціани — це природні пігменти в ягодах, саме червоного, синього і фіолетового кольорів, які широко використовуються як барвники в багатьох продуктах харчування (Bridle та ін., 1997).

Відомо, що вміст антоціанів в ягодах значно різниться, наприклад (в г/кг свіжої маси) їх вміст у: лохини — 0,37; ожини — 0,25; журавлини — 0,14; винограду — 0,03; малини — 0,09; полуниці — 0,02 (Wu та ін., 2006). Отже, найвищий вміст антоціанів у ягодах лохини, але під час переробки вони легко руйнуються (Brownmiller та ін, 2008).

Порошок, отриманий у результаті переробки ягід лохини, має широке застосування в харчовій промисловості. Він застосовується в молочних продуктах, дитячому харчуванні, кондитерських виробах та іншій продукції (Fracassetti та ін., 2013). Перевагами такої порошкоподібної продукції є довший термін зберігання, менший об'єм та вага, відповідно, істотно дешевша вартість транспортування (Bhandari та ін., 2013).

Сушіння фруктів та овочів — один з найбільш поширених процесів переробки, оскільки знижує водяну та мікробіологічну активність продукту, зменшує вагу та об'єм, а також мінімізує фізико-хімічні зміни при зберіганні (Погожих та ін., 2015).

Як об'єкт сушіння ягідні культури мають такі особливості:

- високий вміст води, близько 80—90%;

- до складу ягід, окрім води, входить клітинний сік — вода з нерозчиненими в ній поживними та біологічно активними речовинами, вуглеводами, азотистими речовинами, вітамінами, мінеральними солями та ароматичними речовинами;

- невелика частина води (10…15% загальної кількості) утримується міцніше рослинними колоїдами та потребує на видалення значних енерговитрат тощо (Погожих та ін., 2015).

Усі ці фактори обов'язково мають бути враховані при дослідженні сушіння ягід лохини різними методами, оскільки деякі з них можуть суттєво вплинути на загальну тривалість зневоднення й тепломасообмінний процес у цілому. Хімічні властивості та структура ягідних культур потребують ретельного вивчення (Дмитренко, 2018), а матеріал має бути правильно попередньо підготовленим до зневоднення.

В Україні переважає переробка ягід лохини на заморожену продукцію і недостатньо даних наукових досліджень, що стосуються саме кінетики сушіння. В інформаційному просторі переважають рекомендації побутового характеру, тому подальший огляд та аналіз у пропонованій статті стосується зарубіжних джерел.

Метою статті є аналіз сучасного стану вирощування та переробки ягід лохини у світі та питомого енергоспоживання відомих методів сушіння на основі існуючих даних.

Викладення основних результатів дослідження. В країнах Євросоюзу та США найбільшої популярності набули такі методи сушіння ягід лохини: сублімаційне (ліофільне), вакуумне, комбінування мікрохвильового випромінювання з вакуумним сушінням, інфрачервоного випромінювання та конвективного сушіння тощо. Ягоди лохини сушать цілими, пастоподібними та їх вичавки.

Дієта з високим вмістом ягід асоціюється зі зниженням ризику серцево-судинних захворювань, а також раку та діабету через високий вміст у них поліфенолів (Skupien та ін., 2006). Нині оцінюються різні методи обробки, щоб визначити, як переробка може вплинути на рівні цих біологічно активних речовин.

Протягом десятиліть конвективне сушіння було однією з найдавніших технологій у харчовій промисловості (Kaveh та ін., 2021). Відомо, що в тепловому балансі процесу сушіння 40% енергії втрачається на випаровування вологи, що є показником ефективності сушарок. Основними проблемами при використанні методу конвективного сушіння є: значні втрати теплоти з відпрацьованим сушильним агентом; низька інтенсивність процесу волого-видалення при використанні невисоких температур сушіння; залежність ефективності роботи сушарки від вологості атмосферного повітря. Вирішення цих проблем в ІТТФ НАН України пропонуються через: утилізацію теплоти, яка йде з відпрацьованим сушильним агентом; примусове осушення сушильного агента з метою інтенсифікації масообміну; керовані умови процесу зневоднення (Петрова та ін., 2018).

Зарубіжними вченими було представлено результати досліджень впливу конвективного сушіння на тривалість зневоднення ягід лохини сорту О'Ніл провінції Саламанка, Чилі, а також виконане математичне моделювання та зіставлення отриманих експериментальних і теоретичних даних (López та ін., 2010).

Зразки сушили в конвективній сушарці лабораторного типу (Vega-Gálvez та ін., 2008, при режимних параметрах 50, 60, 70, 80 і 90°C, v = 2,0±0,1 м/с; розмір проби, маса зразка та насипна щільність становили d = 0,7–1,5 см, m =14,67±1,81 г і ρ = 2,9±0,3 кг/м^3 відповідно.

Перед сушінням зразки попередньо обробляли з розчином Pectinex® з метою прискорення парообмінного процесу (Ochoa та ін., 2002). Після цього зразки висушували до моменту досягнення ними постійної ваги (стану рівноваги). Далі визначали експериментально вплив температури теплоносія (°C) на характер кінетики експериментальних кривих сушіння зразків лохини (López та ін., 2010).

На основі отриманих даних дослідниками було побудовано графіки залежностей вологовмісту матеріалу від часу зневоднення (López та ін., 2010). Криві сушіння мали закономірну форму, притаманну для кінетики сушіння колоїдних капілярно-пористих тіл. Класичною була також тенденція: чим вища температура теплоносія, тим меншою за величиною є загальна тривалість зневоднення зразків.

Також дослідниками була застосована модель Вейбулла у вигляді рівняння (1), яке використовувалося для опису кінетики сушіння:

$$MR = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right], \qquad (1)$$

де α — параметр форми; β — перетворюючий параметр моделі Вейбулла, хв; а t — вибірка часу.

Рівняння (1) було застосовано для опису кінетики хімічних, ферментативних і мікробіологічних процесів деградації, а також у процесі сушіння (Marabi та ін., 2003; Uribe та ін., 2009).

У цьому рівнянні залежною змінною є коефіцієнт вологості, який описується рівнянням (2).

$$MR = \frac{X_{wt} - X_{we}}{X_{wo} - X_{we}}, \qquad (2)$$

де X_{wo}, X_{wt} і X_{we} є початковими значеннями у реальному часі та рівноважна вологість відповідно, г води/г сухого матеріалу.

Варто відмітити, що за результатами порівняння розрахункових даних з даними експерименту запропонована модель Вейбулла у (López та ін., 2010) задовільно описує процес конвективного сушіння ягід лохини.

Але варто зазначити, що пониження якості було не так виражене при високих температурах (80—90°C) порівняно з низькими температурами (50—60—70°C), де більш тривалий процес призводить до помітного зниження поживних властивостей і антиоксидантої активності, потребує детальнішого вивчення (López та ін., 2010).

Одним із методів, якому приділяється велика увага протягом останнього десятиліття, є використання мікрохвильового випромінювання в процесі сушіння (Маренченко, 2020). Мікрохвильове випромінювання — електромагнітне випромінювання, що охоплює діапазони хвиль довжиною від 1 м до 1 мм і частотою

від 300 МГц до 300 ГГц (Енциклопедія Сучасної України: електронна версія, 2019). Коли ці хвилі проходять через тканини, полярні молекули, такі як вода та солі, вібрують, і ця вібрація спричиняє перетворення енергії мікрохвильового випромінювання в тепло. Також задіяні інші механізми, такі як транспортування іонів, які сприяють утворенню тепла всередині зразка. На відміну від інших методів сушіння, при яких тепло має проникати від поверхні до глибини, при цьому методі тепло виробляється в тканині самого харчового продукту (Kumar та ін., 2020; Rattanadecho та ін., 2016). Проте такий метод потребує обережності при реалізації через імовірність втрати біологічної цінності харчової рослинної сировини.

Мікрохвильове вакуумне сушіння (MIVAC®) — це новітній засіб зневоднення, короткий вплив якого переважно зберігає дуже важливі харчові властивості, використовує значно менше енергії та часу порівняно з класичними технологіями зневоднення (Мej´ıa-Meza та ін., 2008). Однак експлуатаційні витрати можуть бути вищими, що призводить до збільшення вартості зневодненого продукту. Тому комбінація звичайного методу сушіння, наприклад, зневоднення нагрітим повітрям за допомогою мікрохвильового вакуумного та/або сублімаційного сушіння, може знизити витрати на зневоднення, зберігаючи поживні та якісні властивості зневодненої їжі. Таким чином дослідження (Мej´ıa-Meza та ін., 2008) полягали в кількісній оцінці впливу нагрітого повітря, сублімації та мікрохвильового вакуумного сушіння окремо та в комбінації на утримання окремих поліфенолів, загальних поліфенолів, антоціанів та антиоксидантну активність у сушеній лохині (*Vaccinium corymbosum L.*):

1. Досліджено процес сублімаційного сушіння: зразки лохини обробляли хлоридом кальцію ($CaCl_2$) при –23°C протягом однієї години. Сушіння сублімацією проводили за допомогою сушарки Freezemobile 24-Unitop (VirTis Company, Gardiner, NY, USA) при вакуумному тиску 20 Мілітор (≈2,67 Па), температурі нагрівальної плити 20°C і температурі конденсатора –60°C. Час висихання для зниження вмісту вологи до 5,0% становив 72 години.

2. Досліджено сушіння нагрітим повітрям: зразки сушили при 76,6°C протягом 4,5 год у спеціально виготовленій конвективній сушарці з гарячим повітрям до кінцевого вмісту вологи 5%.

3. Досліджено мікрохвильове вакуумне сушіння за допомогою спеціально виготовленого лабораторного мікрохвильового вакуумного блоку, який складається з магнетрона. Заморожену лохину (1000 г) сушили при 65,5°C протягом 90 хв при 3000 Вт і вакуумному тиску 20 торр (2,6 кПа).

4. Досліджено комбіноване зневоднення нагрітим повітрям і мікрохвильовим вакуум-сушінням зразків свіжої лохини, які були попередньо висушені з вмістом вологи від 50 до 40% за допомогою спеціально створеної конвективної сушарки з гарячим повітрям при 98,8°C протягом 45 хвилин. Попередньо висушені зразки чорниці (1000 г) заморожували –10°F (–23°C) протягом години і зберігали замороженими при –40°C. Заморожені зразки сушили при 71,1°C протягом 60 хв при потужності 3000 Вт і вакуумному тиску 2,6 кПа.

Зневоднення лохини за допомогою мікрохвильової вакуум-сушарки та комбінованого зневоднення нагрітим повітрям продемонстрували значно більш високе

утримання (232 та 297 мг/100 г відповідно) елагової кислоти (природного антиоксиданту фенолу), ніж сушіння нагрітим повітрям (37,7 мг/100 г) і сублімаційне сушіння (25,7 мг/100 г). Глікозид кверцетину зберігся у вищій концентрації в лохині за сублімаційного сушіння (332 мг/100 г), далі за цим показником іде сушіння в мікрохвильовій вакуум-сушарці (201 мг/100 г), комбіноване сушіння нагрітим повітрям та мікрохвильовим зневодненням у вакуум-сушарці (156 мг/100 г) і нагрітим повітрям (137 мг/100 г). Висушена лохина комбінованим сушінням нагрітим повітрям та мікрохвильовим зневодненням у вакуум-сушарці показали дещо вищу затримку (84,5 і 26,4 мг/100 г) в глікозиді кемпферолу, тоді як майже жоден з цих флавоноїдів не був відновлений у висушених зразках сублімацією та комбінованим сушінням нагрітим повітрям, та окремо мікрохвильовим сушінням у вакуум-сушарці.

Дослідники також повідомили, що сублімаційне сушіння призводило до більшого збереження загальних поліфенолів та антоціанів, а також до вищої антиоксидантної активності у глікозидних формах. Поліфеноли аглікону були більш термостабільні в умовах зневоднення, що використовуються тут, і в деяких випадках були присутні в лохині, обробленої комбінованим сушінням нагрітим повітрям та мікрохвильовим сушінням у вакуум-сушарці, на тих же рівнях, що й у ліофілізованій. Комбіноване сушіння нагрітим повітрям та мікрохвильове сушіння у вакуум-сушарці призвело до меншої втрати антиоксидантів і антиоксидантної активності, ніж сушіння гарячим повітрям.

Проте сушіння в такий спосіб (*конвективне сушіння–заморожування–мікрохвильове вакуум-сушіння*) може призвести до зростання вартості кінцевого продукту та додаткових енергетичних витрат.

В американському патенті № 480,473 «Process of freeze-drying blueberries» запропоновано винахід для сублімаційного зневоднення лохини, суть якого полягаєтв тому, що ягода перфорується однією або кількома голками, але проколюють не тільки зовнішні покриви або частини шкірки ягоди, але також і значну кількість внутрішньої серцевини. Хоча одного проколу буде достатньо, щоб забезпечити покращення швидкості зневоднення та регідратації, автори винаходу рекомендують зробити більше однієї такої перфорації, наприклад, у середньому від 2 до 3 проколів на ягоду, залежно від розміру ягоди. Більші ягоди зазвичай потребують більшої кількості перфорацій. Перфоровану таким чином ягоду можна сушити заморожуванням до форми, яка легко регідратується. Підготовлену у такий спосіб ягоду заморожують, в ідеалі з дуже повільною швидкістю, переважно близько 10—20 годин, до температури 0°F (–17,77778°C) і нижче. В результаті загальний час сублімаційного сушіння проколотої таким чином лохини до бажаного стабільного рівня вологості менше 3% буде становити близько 18 год, що на 2/3 менше часу, зазвичай необхідного для сублімації непроколотої ягоди. Було виявлено, сублімований продукт не зморщується, вигляд зовнішньої частини покриву не змінюється і натомість зберігає кулясту форму. Ще однією складністю є те, що важливо протягом операції сублімаційного сушіння підтримувати ягідну серцевину, особливо її рідку фазу в затверділому стані, щоб не відбувалося «розплавлення» рідини, принаймні до кінцевої вологості менше ніж 5%. Бажано

досягти значення менше 3%, оскільки в іншому випадку фрукти та ягоди зморщуються. Таким чином шкірні покриви зменшуються та візуально схожі на чорнослив, маючи ряд зморшок, які залишаються на плодах після його повторного зволоження.

Недоліками представленого способу переробки лохини є високі енергетичні витрати на попередню підготовку та сублімаційне сушіння ягід. Варто також зазначити, що така попередня підготовка є складним процесом при реалізації серійної переробки.

У промисловості при реалізації сублімаційного сушіння виникають проблеми з визначенням раціональних режимних параметрів процесу та пошуком технічних рішень, що могли б забезпечити високі техніко-економічні показники роботи сублімаційних установок зі збереженням високої якості отриманих харчових продуктів (Завалий та ін., 2016). Адаптувати в промислових умовах результати досліджень, які отримано на лабораторній установці, неможливо і некоректно (Сімахіна та ін., 2011).

Ще одним не менш популярним методом є вакуумне сушіння лохини. Запропоновано перед обробкою заморожені ягоди лохини розморожувати в холодильнику при 4°C протягом 24 год (Kim, 2012). Далі розморожені ягоди мололи в кухонному комбайні протягом 2 хвилин. До отриманої суспензії додавали три різні дози мальтодекстрину: 0,3 кг/кг сухої твердої речовини, 0,45 кг/кг сухої твердої речовини і 0,6 кг/кг сухої твердої речовини. Далі суміш перемішували протягом 5 хвилин. До кожного зразка додавали рівні кількості трикальційфосфату (16,7 г/кг сухої твердої речовини лохини) і перемішували за допомогою кухонного комбайна протягом 2 хвилин. Перед сушінням зразки зберігали при 4°C.

Для сушіння ягідних вичавок використовували вакуумну стрічкову сушарку лабораторного масштабу (Zwag, LKM-101, Zchokke Wartman Ltd. Bucher, Доттінген, Швейцарія).

Сушарка містила вакуумовану камеру з конвеєрною стрічкою з тефлоновим покриттям шириною 20,33 см, яка проходить через три незалежно керовані нагрівальні пластини та одну охолоджувальну плиту. Над стрічкою розташовувалася радіаційний нагрівач шириною 22,9 см і охоплювала довжину провідникових нагрівальних пластин.

Для забезпечення вакууму в камері використовувався вакуумний насос Seal 80 CFM індійського виробництва. Тиск у процесі підтримувався між 3,3—60 кПа. Для визначення температури нагріву були використані вбудований сенсорний екран і програмований логічний контролер. Три різні температури (80, 95 або 110°C) використовували для сушіння суспензії ягід. У кожному циклі сушіння переробляли приблизно 500 г суспензії. Зразки висушували до досягнення цільової активності води (a_w) 0,2 ± 0,02. При 80°C зразки сушили 70 хв, при 95°C — 60 хв, при 110°C — 50 хвилин. У більшості випадків повний вакуум не вводили відразу, щоб обмежити надмірне розширення суспензії та вибух проби на стінки сушарки. Таким чином при 80°C тиск утримували на рівні 30 кПа протягом 35 хв, перш ніж знизити його до 3,3 кПа. При 95°C початковий тиск становив 50,7 кПа

протягом 20 хв, а потім змінювали до 3,3 кПа. При 110°С тиск 60 кПа підтримували протягом 20 хв, а потім змінювали до 3,3 кПа.

Оскільки цільні ягоди лохини містять високий рівень цукру, операція сушіння була нелегкою через липкість продукту. Отриманий порошок із лохини описаним вище способом характеризувався покращеною гігроскопічністю та сипучістю виключно за рахунок додавання мальтодекстрину.

Ще одним відомим методом переробки ягід лохини є розпилювальне сушіння, яке широко використовується для виробництва сушеної продукції та інгредієнтів у багатьох напрямках харчової промисловості (Chegini та ін., 2008). Розпилювальне сушіння фруктового соку з високим вмістом низькомолекулярних цукрів і органічних кислот досить складне. Щоб інтенсифікувати процес сушіння, зазвичай, додають деякі носії в сік або концентрат. У світі існує багато досліджень з виробництва порошку з меду, кавуна, з апельсинового та яблучного соків, а також різні порошки з концентрованих фруктових соків шляхом розпилювального сушіння з білковою сироваткою, мальтодекстрином і стабілізатором гуміарабік як носіями (Oberoi та ін., 2015; Chegini та ін., 2005; Jaya та ін., 2004; Shi та ін., 2013).

Фізико-хімічні властивості кінцевого продукту, при застосуванні такого методу, в основному залежать від температури теплоносія, швидкості потоку повітря, швидкість подачі вихідного продукту, швидкості розпилювача, типу носіїв та їх концентрації (Chegini та ін., 2008).

Дослідження (Darniadi та ін, 2017) полягало в розробці піноматеріалу з лохини, отримання порошків після ліофілізованого та розпилювального сушіння, а також порівнянні впливу різних методів сушіння та носіїв на фізичні властивості сухих подрібнених і відновлених продуктів (Darniadi та ін, 2017).

Об'єктом сушіння був концентрований сік із лохини, до якого додавали мальтодекстрин та ізолят сироватки білка, останні використовували як стабілізатор піни і піноутворювач відповідно.

Отриманий спінений сік із лохини наносили на круглу сковороду з тефлоновим покриттям, заморожували у швидкісному морозильнику при –30°С протягом 6 год і далі проводили ліофілізацію сублімаційним сушінням при –55°С і тиску 0,04 мбар, протягом 24 год. Отриманий висушений шар далі подрібнювали для одержання порошку (Darniadi та ін, 2017).

Також одержану суміш із соку та спінювачів сушили методом розпилювального сушіння. Умови сушіння були однаковими для кожного циклу експерименту з температурою на вході 150°С, температура повітря на виході 101°С, швидкість аспіратора 35 $м^3$/год, тиск повітря 0,41 бар і діаметр насадки 1,5 мм. Використані швидкості подачі суміші становили 180 і 360 мл/год (Darniadi та ін, 2017).

Після кожного процесу сушіння порошки лохини збирали з циклону та зберігали у темряві в попередньо зважених, герметичних контейнерах у холодильнику при 5°С для подальшого аналізу (Darniadi та ін, 2017). Одразу варто зазначити, що сушіння розпиленням фруктового соку, зокрема лохини, полягало в тому, що використовувалася висока температура теплоносія (>100°С). Це може посилити деградацію антоціанів у ягоді, що також зазначалося авторами дослідження (Darniadi та ін, 2017).

Після сушіння порошки дослідили на регідратацію, насипну щільність і барвні речовини. Вчені отримали дані, що порошки мали високий рівень регідратації в обох випадках, а при розпилювальному сушінні спостерігалась вища насипна щільність (Darniadi та ін, 2017).

Авторами зазначалося, що барвні речовини (характеристика кольору) були на невисокому рівні після розпилювального сушіння, колір отриманого порошку суттєво відрізнявся від вихідного продукту. А отже, цей метод не може забезпечити різноманітність галузей застосування отриманого порошку із лохини, що позбавляє його універсальності.

Окрім сублімації та вакууму, інтенсифікації процесу сушіння ягід лохини можна досягти через вплив інфрачервоного випромінювання. Застосували комбіноване сушіння ягід через поєднання сублімації та ІЧ випромінювання (Reyesa та ін., 2011). Попередня підготовка: відбиралися зразки (ягоди) оптимального діаметра і розрізалися навпіл або на четверо частин з подальшим заморожуванням.

Сушіння проводили в декількох варіаціях: розмір частинок (половинки; чверті), тип енергії (конвекція з інфрачервоним випромінюванням; конвекція) та сублімація (Reyesa та ін., 2011).

Було виявлено, що частинки, піддані вакуумній сублімації, зберігали свою початкову форму та розмір. А застосування ІЧ-випромінювання викликало потемніння поверхні заморожених плодів (Reyesa та ін., 2011).

На основі отриманих даних було помічено, що зневоднення більших частинок мало більш тривале сушіння. Сублімація надала можливість досягти найнижчого кінцевого вологовмісту. Крім того, ІЧ-застосування прискорило процес сушіння. ІЧ зменшив відносний вологовміст (X/X_0) до значень нижче 0,1 перед 12-годинним сушінням, імовірно, через більший запас енергії (Reyesa та ін., 2011).

На харчові властивості лохини впливають умови експлуатації, які використовуються в процесі сублімаційної сушки.

Вченими із Чилі було досліджено сушіння лохини із застосуванням омічного нагріву та імпульсного вакуумного впливу з подальшим конвективним висушуванням.

Як відомо, осмотична дегідратація — операція, що використовується для часткового видалення води із рослинних тканин шляхом занурення в гіпертонічний розчин, цукор та/або соляний розчин для зниження вологості харчових продуктів до фактичного процесу сушіння (Yadav та ін., 2014).

Лохина — ягода, що швидко псується, тому новітні технології зосереджені на покращенні збереження біоактивних сполук і продовженні її терміну придатності. Було оцінено вплив омічного нагріву та вакуумних імпульсів (при імпульсних вакуумних обробках вакуум 5 кПа застосовували протягом 15 хв на початку процесу) на процеси зневоднення та утримання поліфенольних сполук осмодегідратованої лохини (сорт Tifblue) (Moreno та ін., 2016).

Обробку проводили з використанням 65% розчином сахарози, електричним полем 13 В/см при 30, 40 або 50°С протягом 300 хв та конвективним сушінням при 50, 60 або 70°С для отримання сушеної лохини. В роботі проаналізовано вміст вологи, розчинних твердих речовин та фенольних сполук. Комбінація омічного нагрівання з імпульсною вакуумною обробкою інтенсифікує масообмін в

осмодегідратованій лохині, особливо при вищих температурах. Однак втримання поліфенолів була більшою при нижчих температурах (Moreno та ін., 2016).

Оброблені зразки ягід сушили при різних температурах 50, 60 і 70°C до досягнення залишкової вологості менше або рівній 20% (Moreno та ін., 2016).

Час висихання зразків залежить від температури повітря та осмотичної обробки. Необроблені зразки (еталон) також сушили при різних температурах 50, 60 і 70°C (Moreno та ін., 2016).

Час, необхідний для зменшення вільної вологи зразка, був коротшим при більш високих температурах сушіння для всіх зразків. Так, необробленого зразка час скоротився з 57,5 год при 50°C до 14,17 год при 70°C (Moreno та ін., 2016). Цей температурний ефект очікувався, оскільки більш високі температури полегшують видалення вологи. Крім того, застосування осмотичних методів обробки зменшило час висихання порівняно з еталоном (свіжа ягода). Також спостерігалося, що час зневоднення в оброблених зразках за допомогою омічного нагрівання був коротшим, ніж оброблений звичайним нагрівом. Вакуумний імпульс з омічним нагріванням, кінцевий вміст вологи було досягнено за 22,5 год, при цьому для омічного нагріву та імпульсного вакууму необхідно 45—54 год. Температура 60°C скоротила час зневоднення зразка до половини, для порівняння: час сушіння для осмотичної дегідратації з омічним нагрівом становив 13,3 год. Порівняно з 24,1 год для еталону, зневоднені при 70°C показали подальше скорочення часу висихання порівняно з іншими температурами, з осмотичною дегідратацією з омічним нагрівом час сушіння зменшено до 10 год, а імпульсно-вакуумному з омічним нагріванням та імпульсно-вакуумному до 10,7 та 10,8 год відповідно (Moreno та ін., 2016).

Отже, застосування проміжної температури процесу (40°C) було обрано як попередню обробку перед подальшим сушінням. Дослідники зазначили, що оброблені зразки покращують утримання поліфенолів після висихання порівняно з необробленими зразками, а використання імпульсного вакууму та омічного нагрівання під час обробки осмотичної дегідратації при 40°C протягом 240 хв і подальше сушіння при 60°C може бути найкращим процесом для зневоднення лохини, враховуючи, що це покращує масообмін, досягаються менші втрати фенольних компонентів і скорочується загальний час сушіння. Застосування осмодегідратації перед сушінням на повітрі зменшує вміст вологи, не викликаючи фазових перетворень, зберігаючи якість ягід і скорочення часу висихання на повітрі зразка в результаті синергетичного ефекту імпульсного вакууму та омічного нагрівання (Moreno та ін., 2016).

Проте інформація про питомі енергетичні витрати не повідомлялася, тож технологія переробки ягід лохини потребує додаткових капітальних видатківі не є адаптованою під переробку у промислових масштабах.

Досліджувалась загальна тривалість зневоднення заморожених ягід лохини та питоме енергоспоживання зневоднення заморожених ягід лохини залежно від методу сушіння (Tamás, 2021).

Ягоди лохини були попередньо підготовлені швидким заморожуванням при температурі $t = –25$°C в морозильній камері (FT34MKII, Armfield Ltd., Англія).

Середній діаметр ягід складав 1±0,2 см. Початкова вологість зразків визначалась гравіметричним методом у лабораторній конвективній печі (модель LP302, LaborMIM, Угорщина) при температурі 105±1°С до досягнення постійної маси. Середній вміст вологи зразків був 88,1%, експериментальний процес зневоднення тривав до тих пір, доки залишковий вміст вологи не становив близько 2—3% (Tamás, 2021).

Дослідження процесу зневоднення реалізовувались такими методами: сушіння нагрітим повітрям, під вакуумом, інфрачервоне сушіння, сублімація, а також комбінування цих методів (принцип поєднання детально представлено в табл. 2) (Tamás, 2021). Сушіння нагрітим повітрям реалізовувалось у сушильній шафі (модель LP302, LaborMIM, Угорщина) при режимному параметрі теплоносія t = 60°С, v = 1 м/с; зразок викладений в один шар. Вага зразка вимірювалася щогодини (Tamás, 2021).

Для зневоднення під вакуумом використовувалась лабораторна вакуумна сушарка (модель Kambic VS-50C, Kambic Lab, Словаччина) (Tamás, 2021).

Вакуумний насос забезпечував тиск у камері 5 кПа в процесі сушіння. Температура в камері становила 60°С, температура зразків під час експерименту відслідковувалася через термопари типу Т. Маса зразка, викладеного в один шар, реєструвалася кожну годину.

Інфрачервоне сушіння зразків лохини реалізувалося в лабораторній цифровій інфрачервоній сушарці (модель Precisa HA60, Precisa Instruments AG, Dietikon, Швейцарія) (Tamás, 2021).

Два інфрачервоних нагрівачі напругою 230 В працювали з максимальною потужністю 410 Вт. Піддон для зразків протягом всього експерименту тримався на відстані 15 см нижче інфрачервоних нагрівачів. Температура теплоносія підтримувалася на рівні 60°С, що відповідає густині теплового потоку 4,5 кВт/м^2. Маса зразків лохини, розташованих в один шар, вимірювалася за допомогою електронних вагів Precisa HA60 з інтервалом 5 хв під час експерименту.

Таблиця 2. **Опис комбінування методів сушіння**

№ п/п	Назва	Перша стадія сушіння	Друга стадія сушіння
1	2	3	4
1	Сушіння нагрітим повітрям2-сублімація	Попереднє сушіння нагрітим повітрям до 60°С протягом 2 годин до вологовмісту матеріалу 54,5%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,6%
2	Сушіння нагрітим повітрям3-сублімація	Попереднє сушіння нагрітим повітрям до 60°С протягом 3 годин до вологовмісту матеріалу 40,3%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,4%
3	Сушіння нагрітим повітрям4-сублімація	Попереднє сушіння нагрітим повітрям до 60°С протягом 4 годин до вологовмісту матеріалу 33,7%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,9%
4	Інфрачервоне сушіння5-сублімація	Попереднє сушіння з температурою нагрівання 60°С протягом 5 хвилин до вологовмісту матеріалу 46,9%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,1%
5	Інфрачервоне сушіння10-сублімація	Попереднє сушіння з температурою нагрівання 60°С протягом 10 хвилин до вологовмісту матеріалу 35,4%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,2%

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
6	Інфрачервоне сушіння15-сублімація	Попереднє сушіння з температурою нагрівання 60°С протягом 15 хвилин до вологовмісту матеріалу 26,5%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,6%
7	Вакуумне сушіння2-сублімація	Попереднє сушіння з температурою у камері 60°С протягом 2 годин до вологовмісту матеріалу 59,2%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 3%
8	Вакуумне сушіння3-сублімація	Попереднє сушіння з температурою у камері 60°С протягом 3 годин до вологовмісту матеріалу 44,4%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,7%
9	Вакуумне сушіння4-сублімація	Попереднє сушіння з температурою у камері 60°С протягом 4 годин до вологовмісту матеріалу 36,2%	Сублімація при 20°С до вологовмісту нижче 2,8%

Сушіння сублімацією проводилося з використанням лабораторної морозильної сушарки Christ Alpha 1-4 LSC Plus, Martin Christ GmbH, німецького виробництва. Температура нагрівачів утримувалася на рівні 20°С, а охолоджувача на рівні –45°С. Температурна зразків вимірювалася термопарами типу Т. Під час сушіння 100 г зразків (в 1 шар) були зневоднені в камері з внутрішнім тиском 50 Па, що створював вакуумний насос.

Результати дослідження загальної тривалості висихання для кожного застосованого методу представлено на рис. 3. Сублімація (тривалість 22 год) має найдовшу тривалість зневоднення лохини (Castagnini та ін., 2015). Попереднє заморожування зразка лохини сприяє хорошому впливу на тривалість сублімації, так як скоротило час висихання з 26 до 22 год.

Порівняно з сушінням сублімацією комбіноване зневоднення інфрачервоним сушінням15-сублімація значно скоротило час висихання на 53,4%. Рис. 3 показує, що час висихання комбінованим методом інфрачервоне сушіння–сублімація (785, 670 і 615 хв) було самим короткотривалим серед комбінованих методів сушіння.

Висушували лохину в сублімаційній сушарці, забезпеченою інфрачервоною галогенною лампою потужністю 150 Вт (Reyes та ін., 2011). Було помічено, що застосування інфрачервоного сушіння прискорило процес сушіння. Час роботи сублімаційного сушіння було скорочено до 12 год за допомогою цього принципу. Час сушіння, необхідний для зневоднення за допомогою інфрачервоне сушіння15-сушіння сублімацією для досягнення вологості 2,6%, був в 1,46 раза менший, ніж у методів сушіння нагрітим повітрям4-сушіння сублімацією і вакуумне сушіння4-сушіння сублімацією відповідно. Підвищення інтенсивності виділення теплоти в інфрачервоне сушіння могло призвести до швидкого підвищення температури на поверхні продукту, що призвело б до збільшення тиску водяної пари всередині матеріалу і, як наслідок, до більш високої швидкості сушіння (Datta, та ін., 2002).

Було виявлено, що час сушіння значно скоротився зі збільшенням часу попереднього сушіння (2—3—4 год і 5—10—15 хв) за постійної температури сушіння (60°С) і інфрачервоного випромінювання з густиною теплового потоку 4,5 кВт/м^2.

Окрім того, встановлено, що 5-годинне попереднє сушіння під вакуумом, сушіння нагрітим повітрям і 20-хвилинне попереднє сушіння інфрачервоним випромінюванням викликають помітне потемніння (так звана реакція Майяра) на поверхні зразків.

Вплив одно- і двоступінчатих методів сушіння на питоме споживання енергії (МДж/кг води) представлено на рис. 4.

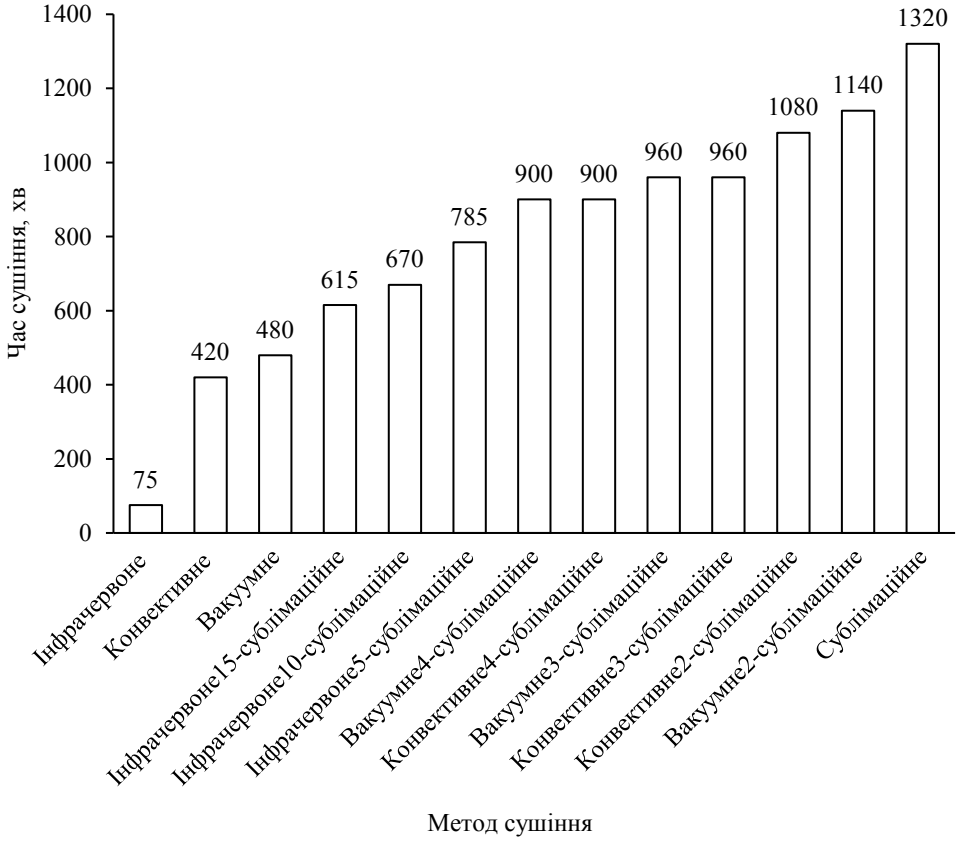


Рис. 3. Загальна тривалість зневоднення заморожених ягід лохини залежно від методу сушіння

Дослідниками було помічено, що в міру скорочення часу висихання загальне питоме споживання енергії зменшується. В експерименті із застосуванням комбінованого сушіння енергоспоживання значно знижується зі збільшенням часу попереднього сушіння (з 2 до 4 год і з 5 до 15 хв). Найвищий рівень показника питомого енергоспоживання був зареєстрований при сушінні сублімацією (496,1 МДж/кг води), якщо порівняти з іншими методами сушіння (Wu та ін., 2019).

Питоме споживання енергії під час зневоднення вимірювалось мікроконтролером перевірки витрат на енергію (модель EKM 265, Conrad Electronic, Німеччина). Також було розраховане споживання енергії, необхідне для видалення 1 кг води (Flink, 1977). Питоме споживання енергії (ПСЕ) в МДж/кг води оцінювалось таким чином (3):

$$\text{ПСЕ} = \frac{E \times 3,6}{W_0 - W_f}, \tag{3}$$

де E — потужність електроенергії, що споживається, кВт/год; W_0 — початкова маса сировини, кг; W_f — кінцева маса висушеного зразка, кг.

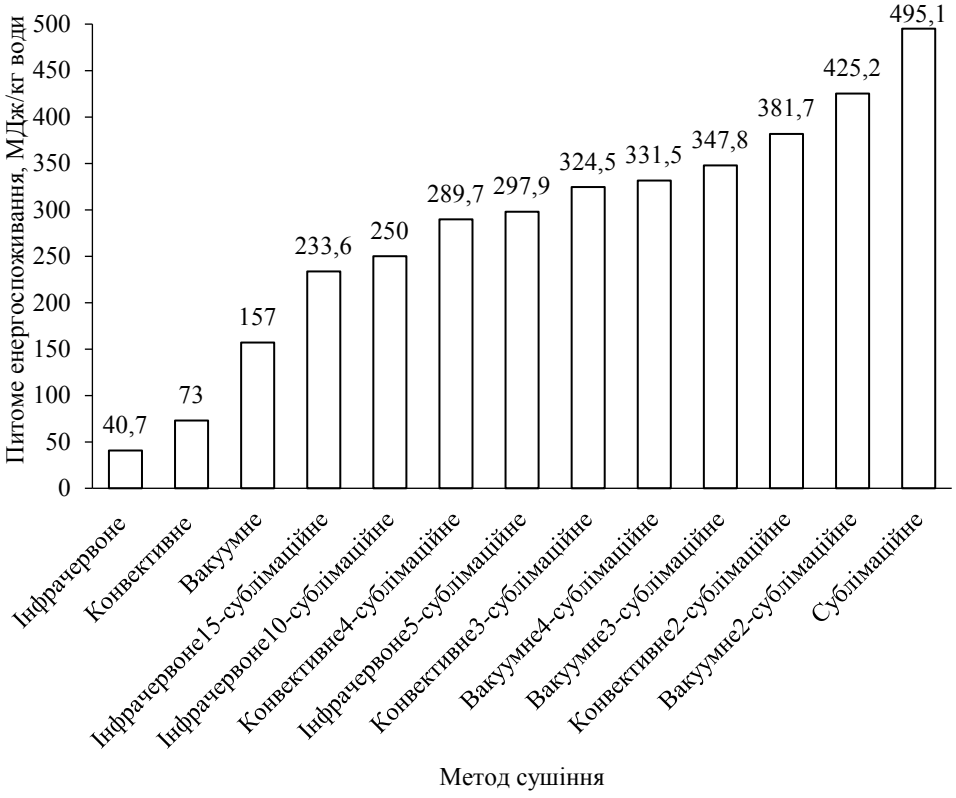


Рис. 4. Питоме енергоспоживання зневоднення заморожених ягід лохини залежно від методу сушіння

Причина високого енергоспоживаня (що є основним недоліком цього методу) сублімації полягає в тому, що, зазвичай, використовуються електричні нагрівальні плити для забезпечення тепла, необхідного для сублімації льоду, з низькою теплопровідністю. При сублімаційному сушінні базова енергія, необхідна для видалення 1 кг води, майже в два рази вища, ніж при звичайному сушінні. В цьому дослідженні питоме споживання енергії сушіння сублімацією приблизно в 6,8 раза перевищує споживання енергії конвективного сушіння. Найнижче питоме енергоспоживання було пов'язане з методом інфрачервоного сушіння-сублімації. Енергоспоживання у методу інфрачервоного сушіння15-сублімація на 52,9% нижче енергоспоживання сушіння сублімацією, різниця між ними суттєва.

Порівняно із сублімаційним сушінням, інфрачервоне-сублімаційне сушіння може ефективно скоротити час сушіння і загальне споживання енергії, особливо

інфрачервоне сушіння15-сублімація. Інфрачервоне сушіння15-сублімація скоротило час сушіння на 53,4% та споживання енергії на 52,9% порівняно з одноступеневим сублімаційним сушінням.

Було помічено, що час висихання матеріалу сушіння нагрітим повітрям-сублімація аналогічний часу висихання зразків при вакуумному сушінні-сублімації. Питоме енергоспоживання сушіння нагрітим повітрям4-сублімація було таким самим, як і інфрачервоне сушіння15-сублімація.

Отже, як видно з рис. 3 та 4, найраціональнішими методами сушіння ягід лохини є: інфрачервоне, конвективне та вакуумне. Але сушіння інфрачервоним випромінюванням викликає погіршення якісних характеристик матеріалу, а зневоднення у вакуумі відоме високими витратами енергії.

Висновки

Теоретичний аналіз вищевикладених існуючих досліджень переробки ягід лохини на сушену продукцію показав, що зарубіжними дослідниками у більшості випадків надається перевага більш енергоємним методам сушіння: вакуумному, сублімаційному та їх комбінуванню між собою і з класичним конвективним сушінням. Інфрачервоне сушіння застосовується як попередня підготовка і не рекомендоване як класичний метод сушіння ягід лохини, оскільки викликає погіршення якості кінцевого продукту переробки.

Усі вищезазначені в статті методи, особливо етап попередньої підготовки, реалізовані в лабораторних умовах, однак не були реалізовані на промисловому обладнанні. Отже, постає питання ефективної підготовки та розробки енергоефективної теплотехнології сушіння ягід лохини в промислових масштабах.

Література

Балан, А. (2019). Сучасні знання — драйвер розвитку ягідного сектору України. *Ягідник*, 4, 10. Взято з http://www.jagodnik.info.д.

Галат, Л. М. (2021). Експортний потенціал та проблеми розвитку галузі ягідництва України. *Агросвіт,* 1—2, 46—55. http://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.1-2.46.

Дмитренко, Н. (2018). Вплив розчинних речовин на стан води в рослинних тканинах та кінетику їх сушіння. *Scientific Works*, 82(1), 103—108. http://doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1015.

Завалий, А. А., & Снежкин, Ю. Ф. (2016). *Разработка и тепловое моделирование устройств инфракрасной сушки термолабильных материалов*. Симферополь: АРИАЛ. Взято з https://www.nas.gov.ua/UA/Book/Pages/default.aspx?BookID=0000009942.

Кухтіна, І. (2020). Новий сезон на ринку фруктів та ягід: тенденції та перспективи. *Агробізнес сьогодні*,11, 54—57. Взято з http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/17888-novyi-sezon-na-rynku-fruktiv-ta-iahid-tendentsii-ta-perspektyvy.html.

Маренченко, О. І. (2020) *Інноваційні технології зневоднення харчової сировини*. (Дис. докт. філос.). Одеська національна академія харчових технологій МОН України, Одеса. Взято з https://ontu.edu.ua/download/dissertation/phd/Disser/2020/Disser-PhD-Marenchenko.pdf.

Петрова, Ж. О., & Снєжкін, Ю. Ф. (2018). *Енергоефективні теплотехнології переробки функціональної сировини*. Київ: Наукова думка. Взято з http://www.ndumka.kiev.ua.

Погожих, М. І., & Пак, А. О. (2015). *Енергоефективні способи переробки харчової сировини: сушіння плодово-ягідної сировини*. Харків: ХДУХТ. Взято з https://shron1.chtyvo.org.ua/Pak_Andrii/Enerhoefektyvni_sposoby_pererobky_kharchovoi_syrovyny_sushinnia_plodovo-iahidnoi_syrovyny.pdf.

Поперечна, О. (2020). Лохина — ягода № 1 в Україні за площею комерційних насаджень. *Ягідник*, 1, 19—21. Взято з http://www.jagodnik.info/lohyna-yagoda-no1-v-ukrayini-za-ploshheyu-komertsijnyh-nasadzhen.

Сімахіна, Г. О., & Науменко, Н. В. (2011). *Низькотемпературна безвідходна технологія сублімованих продуктів з вуглеводовмісної сировини: Низькі температури у технологіях оздоровчих продуктів*. Київ: Сталь, 235-317. Взято з http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/633.

Bridle, P., & Timberlake, C. F. (1997). Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. *Food Chemistry*, 58, 103—109. http://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00222-1.

Brownmiller, C., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2008). Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products. *Journal of Food Science*, 73, 72—79. http://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00761.x.

Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert A. (1993). Spray Drying of Concentrated Fruit Juices. *Dry Technology*, 11, 1081—1092. http://doi.org/10.1080/07373939308916884.

Castagnini, J. M., Betoret, N., Betoret, E., & Fito, P. (2015). Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. *LWT — Food Science and Technology*, 64, 1289—1296. http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.044.

Chegini, G. R., Khazaei, J., Ghobadian, B., & Goudarzi, A. M. (2008). Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks. *Journal of Food Engineering*, 84, 534—543. http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.007.

Clary, C. D., Wang, S., & Petrucci, V. F. (2005). Fixed and incremental levels of microwave power application on drying grapes under vaccum. *Journal of Food Science*, 70(5), 344—9. http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09975.x.

Darniadi, S., Ho, P., & Murray, B. S. (2018). Comparison of blueberry powder produced via foam-mat freeze-drying versus spray-drying: evaluation of foam and powder properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5). 2002—2010. http://doi.org/10.1002/jsfa.8685.

Datta, A. K., & Ni, H. (2002). Infrared and Hot-Air Assisted Microwave Heating of Foods for Control of Surface Moisture. *Journal of Food Engineering*, 51(4), 355—364. http://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00079-6.

Flink, J. M. (1977). Energy Analysis in Dehydration Processes. Food Technology, 31, 77—84. Взято з https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302502961.

Fracassetti, D., Del, Bo'C, Simonetti, P., Gardana, C., Klimis-Zacas, D., & Ciappellano, S. (2013). Effect of Time and storage temperature on anthocyanin decay and antioxidant activity in wild blueberry (Vaccinium angustifolium) powder. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 61, 2999—3005. http://doi.org/10.1021/jf3048884.

Jaya, S., & Das, H. (2004). Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63, 125—134. http://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00135-3.

Kaveh, M., Golpour, I., Gonçalves, C. J., Ghafouri, S., & Guiné, R. (2021). Determination of drying kinetics, specific energy consumption, shrinkage, and colour properties of pomegranate arils submitted to microwave and convective drying. *Open Agriculture*, 6, 230—242. http://doi.org/10.1515/opag-2020-0209.

Kim, M. (2012). *Vacuum-belt drying of blueberry powders* (A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science). The University of Georgia, Athens, Georgia. Взято з chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://getd.libs.uga.edu/pdfs/kim_michelle_201205_ms.pdf.

Kumar, S., Grekov, D., Pré, P., & Alappat, B.J. (2020) Microwave mode of heating in the preparation of porous carbon materials for adsorption and energy storage applications — an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109743. http://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109743.

López, J., Uribe, E., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzalez, E., & Di Scala, K. (2010). Effect of Air Temperature on Drying Kinetics, Vitamin C, Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Non-enzymatic Browning and Firmness of Blueberries Variety O´Neil. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 772—777. http://doi.org/10.1007/s11947-009-0306-8.

Marabi, A., Livings, S., Jacobson, M., & Saguy, I. S. (2003). Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. *European Food Research Technology*, 217(4), 311—318. http://doi.org/10.1007/s00217-003-0719-y.

Mazza, G. (2005). Compositional and functional properties of Saskatoon berry and blueberry. International Journal of Fruit Science, 5(3), 101—120. http://doi.org/10.1300/J492v05n03_10.

Mej´ıa-Meza, E. I., Y´a˜nez, J. A., Remsberg, C. M., Davies, N. M., Rasco, B., Younce, F., & Clary, C. (2008). Improving Nutritional Value of Dried Blueberries (*Vaccinium corymbosum L.*) Combining Microwave-Vacuum, Hot-Air Drying and Freeze Drying Technologies. *International Journal of Food Engineering*, 4(6), 1—6. Взято з https://www.academia.edu/18617027/Improving_Nutritional_Value_of_Dried_Blueberries_Vaccinium_corymbosum_L_Combining_Microwave_Vacuum_Hot_Air_Drying_and_Freeze_Drying_Technologies.

Moreno, J., Gonzales, M., Zúñiga, P., Petzold, G., Mella, K., & Muñoz, O. (2016). Ohmic heating and pulsed vacuum effect on dehydration processes and polyphenol component retention of osmodehydrated blueberries (cv. Tifblue). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36, 112-119. http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.005.

Oberoi, D. P. S., & Sogi, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172—178. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.06.024.

Ochoa, M. R., Kesseler, A. G., Pirone, B. N., Márquez, C. A., & DeMichelis, A. (2002). Shrinkage during convective drying of whole rose hip (Rosa Rubiginosa L.) fruits. *Food Science and Technology Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 35, 400—406. http://doi.org/10.1006/fstl.2001.0861.

Rattanadecho, P., & Makul, N. (2016). Microwave-assisted drying: a review of the state-of-the-art. *Dry Technology*, 34, 1—38. http://doi.org/10.1080/07373937.2014.957764.

Reyesa, A., Evseeva, A., Mahna, A., Bubnovicha, V., Bustosa, R., & Scheuermannb, E. (2011). Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 1—16. Взято з https://www.academia.edu/47064008/Effect_of_operating_conditions_in_freeze_drying_on_the_nutritional_properties_of_blueberries.

Reyes, A., Evseev, A., Mahn, A., Bubnovich, V., Bustos, R., & Scheuermann, E. (2011). Effect of Operating Conditions in Freeze-Drying on the Nutritional Properties of Blueberries. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(3), 303—306. http://doi.org/10.3109/09637486.2010.534078.

Routray, W., & Orsat, V. (2011). Blueberries and Their Anthocyanins: Factors Affecting Biosynthesis and Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* 10, 303—320. http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00164.x.

Satanina, V. (2011). *Optimization of Hydrothermodynamic Technology for Blueberry Food Processing*. (A Thesis Submitted to the Faculty of The Graduate Studies of Dalhousie University, Halifax, Nova Scotiafor in co-operation Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia with the Degree Master of Science). Dalhousie University, Halifax, Nova Scotiafor & Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia. Взято з chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=TC-NSHD-14347&op=pdf&app=Library&oclc_number=870856372.

Shi, Q., Fang, Z., & Bhandari, B. (2013). Effect of Addition of Whey Protein Isolate on Spray-Drying Behavior of Honey with Maltodextrin as a Carrier Material. *Dry Technology,* 31, 1681—1692. http://doi.org/10.1080/07373937.2013.783593.

Skupien, K., Oszmianski, J., Kostrzewa-Nowak, D., & Tarasiuk, J. (2006). In vitro antileukaemic activity of extracts from berry plant leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells. *Cancer Letters,* 236(2), 282—91. http://doi.org/10.1016/j.canlet.2005.05.018.

Tamás, A. (2021). Effect of different drying techniques on the drying time and energy of blueberry. *Analecta Technica Szegedinensia*, 15(1), 23—30. http://doi.org/10.14232/analecta.2021.1.23-30.

Uribe, E., Vega-Galvez, Di Scala, K., Oyanadel, R., Saavedra Torrico, J., & Miranda, M. (2009). Characteristics of convective drying of pepino fruit (Solanum muricatum Ait.): application of Weibull distribution. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1349—1356. http://doi.org/10.1007/s11947-009-0230-y.

Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sainz, C., Fito, P., & Andrés, A. (2008). Effect of air-drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, 85(1), 42—50. http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.032.

Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E., & Prior, R. L. (2006). Concentrations of Anthocyanins in Common Foods in the United States and Estimation of Normal Consumption. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 54, 4069—4075. http://doi.org/10.1021/jf060300l.

Wu, X., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). A Novel Infrared Freeze Drying (IRFD) Technology to Lower the Energy Consumption and Keep the Quality of Cordyceps Militaris. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54, 34—42. http://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.003.

Yadav, A. K., & Singh, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Journal of Food Science Technology*, 51(9), 1654—1673. http://doi.org/10.1007/s13197-012-0659-2.

УДК 664.681.9

THE USE OF CORN AND TAPIOCA STARCH IN THE PRODUCTION OF LOW-PROTEIN COOKIES FOR PATIENTS WITH PHENYLKETONURIA

V. Dorokhovych, M. Hrytsevich
National University of Food Technologies

Key words:
Phenylketonuria
Phenylalanine
Low protein cookies
Xanthan gum
Maltodextrin

Article history:
Received 09.05.2022
Received in revised form 26.05.2022
Accepted 14.06.2022

Corresponding author:
V. Dorochovych
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article describes the effect of the use of corn, tapioca starches, xanthan gum and maltodextrin on sensory and physical-chemical properties of low protein dough and cookies. The problem of nutrition and phenylalanine metabolism for people with phenylketonuria is reported. The phenylalanine content in raw materials which can be used in cookies production is given. Three recipe composition of low protein cookies with corn, tapioca starches, maltodextrin and xanthan gum were investigated. Designed cookies made without flour, eggs, and milk products, so the phenylalanine content is close to 0. The main ingredients are starches, butter, sugar, structuring agents. Recipes were created in such a way that by combining different types of starch with hydrocolloids, it was possible to simulate the properties of gluten and recreate the structural and mechanical properties of traditional dough for wheat cookies for mass consumption. Dough preparation process is given. Low protein cookies and cookies from wheat flour were studied and compared. Taste and quality indicators of investigated cookies were similar to cookies from wheat flour. Sensory assessment of cookies (taste, scent, color, shape, surface condition, view in the rift, consistence) made by testers showed that cookies made from blend of corn and tapioca starches (in proportion 80 and 20% respectively), maltodextrin and xanthan gum had the higher rating. Sample from corn starch and maltodextrin had the highest moisture content while sample from corn and tapioca starches and maltodextrin had the lowest moisture content. Samples made from corn starch had comparatively the same water absorption capacity. The use of tapioca starch in the production of low-protein cookies can significantly increase water absorption capacity, while use of maltodextrin can decrease it. Hardness of all investigated low protein cookies is higher than hardness of traditional cookies. Cookies made with maltodextrin had the highest hardness, while addition of 20% of tapioca starch showed no influence on hardness.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-14

ВИКОРИСТАННЯ КУКУРУДЗЯНОГО ТА ТАПІОКОВОГО КРОХМАЛЮ У ВИРОБНИЦТВІ НИЗЬКОБІЛКОВОГО ПЕЧИВА ДЛЯ ХВОРИХ НА ФЕНІЛКЕТОНУРІЮ

В. В. Дорохович, М. Ю. Грицевіч
Національний університет харчових технологій

У статті описано вплив використання кукурудзяного крохмалю, крохмалю тапіоки, ксантанової камеді та мальтодекстрину на органолептичні та фізико-хімічні властивості низькобілкового тіста і печива. Описано проблему харчування та метаболізму фенілаланіну у хворих на фенілкетонурію. Наведено вміст фенілаланіну в сировині, яку можна використовувати у виробництві печива. Досліджено три рецептурні композиції низькобілкового печива з кукурудзяним, тапіоковим крохмалем, мальтодекстрином і ксантановою камеддю. Розроблене печиво виготовляється без борошна, яєць і молочних продуктів, тому вміст фенілаланіну близький до 0. Основні інгредієнти — крохмаль, вершкове масло, цукор і структуроутворювачі. Рецептури створювалися таким чином, щоб шляхом поєднання різних видів крохмалю з гідроколоїдами можна було змоделювати властивості клейковини та відтворити структурно-механічні властивості традиційного тіста для здобного печива. Наведено процес приготування тіста. Вивчено та порівняно печиво з низьким вмістом білка та здобне печиво з пшеничного борошна. Смакові властивості та показники якості показники досліджуваного печива були подібними до відповідних показників здобного печива з пшеничного борошна. Органолептична оцінка печива (смак, запах, колір, форма, стан поверхні, вид у розриві, консистенція), показала, що печиво, виготовлене із суміші крохмалів кукурудзи та тапіоки (у співвідношенні 80 та 20% відповідно), мальтодекстрину та камеді ксантану. мало вищий бал. Печиво, виготовлене із кукурудзяного крохмалю та мальтодекстрину, мало найвищий вміст вологи, тоді як зразок, виготовлений із суміші кукурудзяного і тапіокового крохмалю та мальтодекстрину мав найнижчий вміст вологи. Зразки, виготовлені з кукурудзяного крохмалю, мали порівняно однакову намочуваність. Використання крохмалю тапіоки у виробництві печива з низьким вмістом білка може значно збільшити намочуваність, тоді як використання мальтодекстрину може її зменшити. Міцність усього дослідженого низькобілкового печива вища за міцність здобного печива, виготовленого з пшеничного борошна. Печиво, виготовлене з додаванням мальтодекстрину, мало найвищу міцність, тоді як додавання 20% крохмалю тапіоки не вплинуло на цей показник.

Ключові слова: *фенілкетонурія, фенілаланін, низькобілкове печиво, ксантанова камедь, мальтодекстрин.*

Problem definition and its relationship with important practical tasks. One of the most important human values is health. Nowadays humanity faces a large number of diseases which are not eligible for effective medical and pharmacological treatment. Among them, inherited diseases associated with genetic mutations take place. Such

diseases include phenylketonuria. The only known effective method to treat patients with phenylketonuria (PKU) is lifelong diet treatment (Al Hafid et al., 2015).

People with PKU can't consume amino acid phenylalanine, which is a part of almost all proteins. Diet for people with PKU includes consumption of low protein food and medical supplements with all essential amino acids excluding phenylalanine (Burgard et al., 2017). Almost all flour confectionery which are produced in the world have high phenylalanine content. Due to this people with PKU can't consume such products, and that is why it is important to investigate low protein flour confectionery and study influence of different raw materials on sensory, physico-chemical properties of low protein dough and cookies

Analysis of recent research and publications. Phenylketonuria is an autosomal recessive genetic disease caused by mutation in a gene responsible for phenylalanine metabolism. Phenylalanine is an essential amino acid which is obtained by organism with food. As a result of the absence of phenylalanine-4-hydroxylase, phenylalanine undergoes pathological transformation, which leads to an increase in blood level of phenylalanine and products of improper amino acid metabolism. They adversely affect lipid metabolism in the brain, which provokes mental retardation (Al Hafid et al., 2015). Chemical pathways involved in phenylketonuria are shown on Figure 1. Due to the lack of tyrosine, the synthesis of neurotransmitters which regulate the nervous system is disrupted (Hagedorn et al., 2013; Ford et al., 2018). Increased blood phenylalanine and its metabolic products leads to damage of the central nervous system, manifested by mental disorders and nervous deficits (Wahlsten et al., 2019; Burgard et al., 2017).

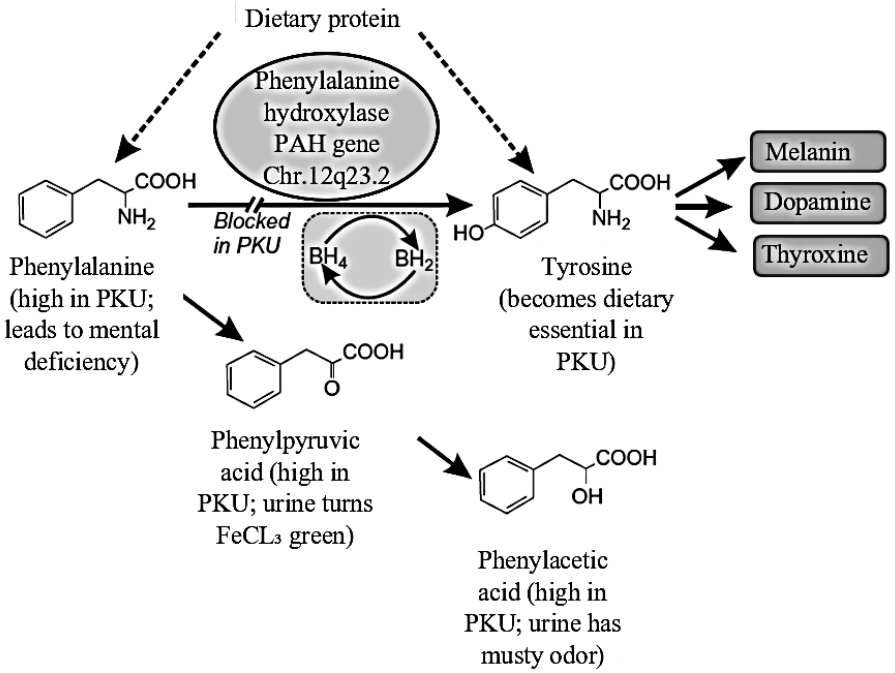


Fig. 1. Chemical pathways involved in PKU

A complete therapeutic diet for patients with PKU is formed of two components — a vegetarian menu using low-protein foods and daily intake of the medicinal product in the form of a mixture of amino acids or protein hydrolysates. Medical products are made with low or no phenylalanine, and the addition of vitamins and trace elements complexes to replace natural food protein (Firman et al., 2020).

Amount of protein obtained using natural products in the diet is calculated based on the allowable daily amount of phenylalanine for patients of different age. At the same time, it makes up to 20—22% of the age physiological norm in the diet. The normal amount of protein is supplemented by the medical products. (Firman et al., 2020; Kose et al., 2019; Krämer, et al., 2015).

Phenylketonuria is prevalent in Europe and the US. The incidence of this condition is approximately 1 per 10000 newborns. It is relatively common in some parts of China but is rare in Africa. The highest incidence is observed in Turkey where the incidence is up to 1 per 2600 newborns (Cleary et al., 2019). Globally 0.45 million individuals have PKU, with global prevalence 1 per 23930 live births (Hillert et al., 2020).

Nowadays the range of low-protein products around the world is quite small, in some countries there is no production of this category of food. Therefore, the development and production of low-protein foods is an urgent task.

The purpose of the research was to study influence of use corn, tapioca starches, xanthan gum and maltodextrin on sensory and physico-chemical properties of low protein dough and cookies.

Materials and methods. The following raw materials were used:

- Corn starch (produced by Dr. Oetker, Germany)
- Tapioca starch (produced by Edward & Sons, Let's Do Organic, USA)
- Maltodextrin (bought from "Pekar-Konditer", Ukraine)
- Sugar (produced by S-Trans, Ukraine)
- Butter sweet 72,5% (produced by Loostdorf, Ukraine)
- Xanthan gum (produced by Creamo, Ukraine)
- Baking soda (produced by Dr. Oetker, Germany)
- Vanillin (bought from "Pekar-Konditer", Ukraine)

Dough preparation. The process of dough preparation consisted of two phases: emulsion preparation and dough preparation. To prepare the emulsion, butter, sugar and water were beaten for 7 minutes using mixer. Starch, maltodextrin, xanthan gum, baking soda and vanillin were mixed in a separate container. After that, the free-flowing components were added to the emulsion and mixed until homogeneous condition.

Heat treatment of low protein cookies. Heat treatment of the dough (baking) was carried out in an oven at a temperature of 200°C for 10 minutes.

Moisture content in the dough. Determination of the mass fraction of moisture was carried out by the express method on the Chizhova's device. The principle is based on drying the material at a temperature of 160°C for 5 minutes.

For rapid removal of moisture drying in infrared rays are used, which are perceived not only by the surface, but also penetrate into the product to a depth from 2 to 3 mm, which causes its intense heating. The sources of infrared rays were heated metal surfaces, which give radiation in the wavelength range of 0.76…343 nm. Chizhova's device works on this principle. It consists of two massive round metal plates (an alloy of aluminum and cast iron), between which a thin layer of the analyzed material is placed. The plates are hinged together and heated by electrical elements placed on the

outside of the appliance, which ensures rapid dehydration of the product. During operation, the distance between the plates is 2 mm, the temperature is controlled by two thermometers. The heating of the plates can be strong or weak. Strong heating is used in the case of initial heating, and weak — to maintain the desired temperature (to switch the heating mode there is a special switch). The contact thermometer provides constancy of the set temperature within ±1°C (Дорохович та ін., 2015).

Sensory analysis of low protein cookies. The Delphi expert survey method was used to determine the sensory parameters (Brady, 2015; Okoli and Pawlowski, 2004).

Moisture content in low protein cookies. Determination of moisture content in low protein cookies was carried out using drying chamber at a temperature of 130°C for 30 minutes (Дорохович та ін., 2015).

Water absorption capacity of low protein cookies. Determination of water absorption capacity was carried out by immersion of cookies in water at a temperature of 20 for 3 minutes and characterized by the ratio of the mass of products after wetting to the mass of dry products (in mass percentages) (Дорохович та ін., 2015).

Alkalinity of low protein cookies. Alkalinity of low protein cookies was determined by titration of the product filtrate with 0.1 N sulfuric or hydrochloric acid solution with Bromothymol blue indicator. The alkalinity index shows the content of alkali in the product, expressed in degrees or percentages. Degrees of alkalinity is the amount of ml of 1 N acid solution which goes to neutralize the alkali contained in 100 g of product. (Дорохович та ін., 2015).

Hardness of low protein cookies. The hardness of cookies is determined by the load that can withstand cookie until it breaks. The essence of the procedure is to create constant and increasing pressure on the center of the product, which is fixed between two supports. The display records the data on the current load on the product. When the instance is broken, the device will remember the peak load and save it until the next check. The arithmetic mean of the cookie strength was calculated from 5 parallel tests (Дорохович та ін., 2015).

Results and discussion. *Rationale for the choice of raw materials.* Traditional flour confectionery are often made from raw materials which contain large amount of protein and the amino acid phenylalanine (table 1). The information regarding protein and phenylalanine content were taken from Food data (frida.fooddata.dk), version 4, 2019, National Food Institute, Technical University of Denmark.

Table 1. **The content of protein and phenylalanine in the raw materials used for the production of traditional cookies**

Product name	Protein content, g per 100 g of product	Phenylalanine content, mg per 100 g of product
1	2	3
Wheat flour	9.7	538
Rice flour	7.3	393
Chicken eggs	10.2	667
Chicken eggs, dried	82.3	5140
Milk whole 3.5%	3.4	172
Dried milk	23.9	1200
Coconut meat, desiccated	6.5	295
Hazelnut, dried	13.2	667
Almond, raw	21.2	1210

Continuation of Table 1

1	2	3
Rice starch	0.8	43
Cocoa, powder	17.1	756
White sugar	0	0
Brown sugar	0	0
Butter, salt added	0.7	34
Margarine, (more than 50% fat), average	0	0

Proteins, in particular gluten, play an important role in dough formation. It forms a gluten-free skeleton, which gives the dough viscoelastic properties and keeps air bubbles in the dough. The functionality of gluten should be simulated through the use of other raw components, such as gum (guar, xanthan, carob) carboxymethylcellulose, pectin, carrageenan, polydextrose, various types of highly purified starches (wheat, corn, tapioca, potato and potato) (Mohsen et al., 2010; Scortegagna et al., 2019; Yaseen et al. 2011).

Low protein cookies preparation. Using low-protein raw materials, three recipes for low-protein cookies were investigated. They could be consumed by people with phenylketonuria.

Sample 1 — made from corn starch, maltodextrin and xanthan gum;

Sample 2 — made from blend of corn and tapioca starches (in proportion 80 and 20% respectively), maltodextrin and xanthan gum;

Sample 3 — made from corn starch and xanthan gum.

The formation of the dough consists of mixing water and raw materials to a homogeneous mass with specific physical properties.

The dough is formed due to complex physico-chemical, colloidal, biochemical processes which occur under the action of water and enzymes during mixing of the dough components. As a result of physicochemical processes, the components are mixed, wetted, and then the dough mass is plasticized (Дорохович та ін., 2015).

Swellable biopolymers: starch, pentosans, as well as shell particles are involved into colloidal processes in the process of formation low protein dough.

Thus, water plays a key role in dough formation. The amount of water required for kneading the dough is determined experimentally.

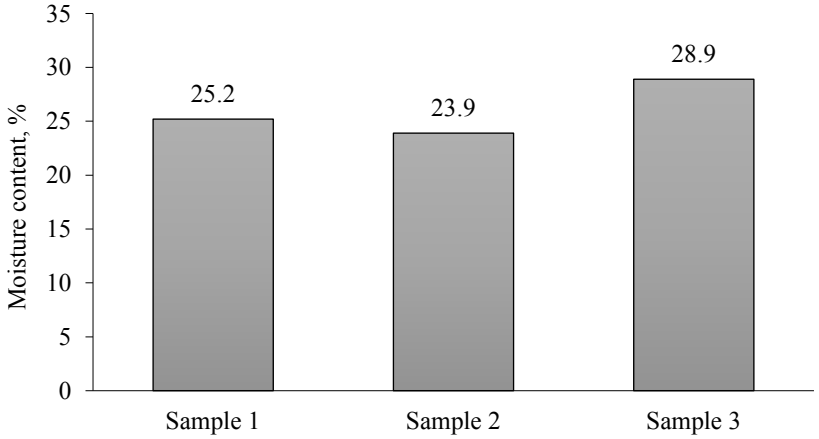


Fig. 2. Moisture content in the dough of low protein cookies

Dough from corn starch and xanthan gum had the highest moisture content while dough with addition of tapioca starch and maltodextrin had lower moisture content. This can be justified by the fact that corn starch absorbs more water.

Sensory analysis of low protein cookies. Baked low protein cookies were given to the experts who didn't follow low protein diet for evaluation.

Cookies made from blend of corn and tapioca starches (in proportion 80 and 20% respectively), maltodextrin and xanthan gum (sample 2) had the higher rating of all samples, while cookies made with corn starch and xanthan gum had the lowest (Table 2). All samples of low-protein cookies had light color due to the low protein content, and as a result there was almost no Maillard reaction. The Maillard reaction is a chemical reaction between amino acids and reducing sugars which typically proceeds rapidly from around 140 to 165°C that gives browned food its distinctive flavor (Nursten, 2005).

Table 2. **Sensory analysis of low protein cookies**

Quality indicator	Sensory analysis of low protein cookies		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
Taste	Starch is a little sensible in the mouth, no aftertaste	Starch is almost imperceptible in the mouth, aftertaste is absent	Starch is sensible in the mouth, no aftertaste
Scent	Sweet cream, barely noticeable		
Color	White with a yellowish tinge, uniform		
Shape	Correct, the edges are smooth		
Surface condition	Not burnt, smooth	Not burned, there is a small number of cracks	Not burnt, smooth
View in the rift	Baked, uniform porosity, with small cavities and traces of impermeability	Baked, uniform porosity, without cavities and traces of impermeability	Baked, uneven porosity, no cavities and traces of impurities
Consistence	Hard	Hard, brittle	Hard
Overall rating:	**4.2**	**4.5**	**4.0**

Physico-chemical parameters of low protein cookies. Water is an important component of food. It is contained in products as a cellular and extracellular component, as a dispersing medium and solvent, which determines the consistency and structure of food, affects appearance, taste and stability of products during storage. The amount of moisture in the product determines its energy value, because the more water it contains, the less useful dry matter (proteins, fats, carbohydrates, etc.) per unit mass (Дорохович та ін., 2015). The stability of the product during storage and its transportability are closely related to the water content, as excess moisture promotes enzymatic and chemical reactions, increase the activity of microorganisms, including those which cause spoilage of the product, including mold. Therefore, the moisture content of the product determines the storage conditions and shelf life (Дорохович та ін., 2015).

Cookies made from blend of corn and tapioca starch had the lowest moisture content (4.7%), while coolies made from corn starch and maltodextrin had the highest moisture content (8.0%) (Figure 3). All studied samples had acceptable moisture content in comparison with traditional cookies made from wheat flour and was within the limits established by normative and technical legislation.

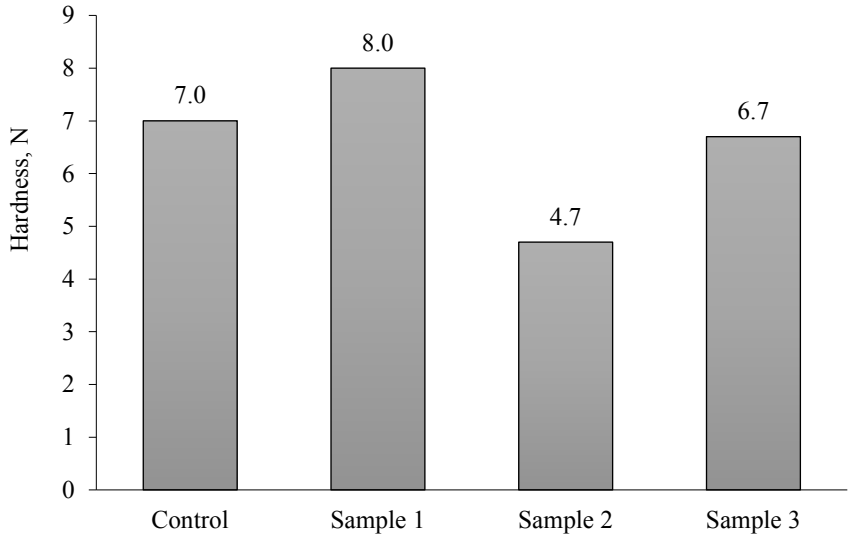


Fig. 3. Moisture content of low protein cookies and traditional cookies from wheat flour

Water absorption capacity is an indirect indicator of the porosity of cookies, which is determined by the increase in the mass of flour confectionery when immersed in water with a temperature of 20°C for a set time. Water absorption capacity depends on chemical composition and structure of the products (Дорохович та ін., 2015).

Cookies made from corn starch had comparatively the same water absorption capacity as cookies made from wheat flour. Obtained data shows that the use of tapioca starch in the production of low-protein cookies can significantly increase this indicator, while use of maltodextrine can decrease it.

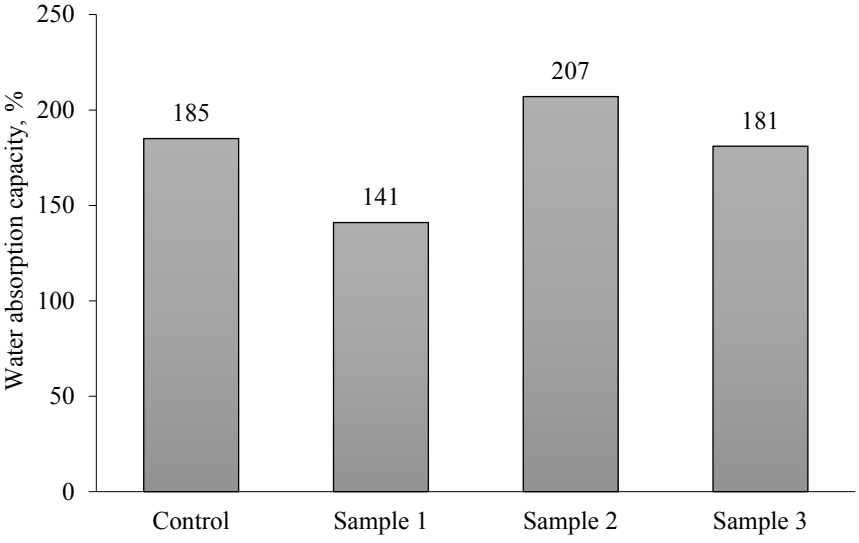


Fig. 4. Water absorption of low protein cookies and traditional cookies with wheat flour

Alkaline-reacting substances are added to cookies in the form of baking soda. A high degree of alkalinity of baked products may indicate that not all of the baking soda has degraded during the heat treatment. Alkalinity of all samples was 0.6 degrees, and it indicates that almost all baking soda in the product underwent thermal degradation during baking.

Hardness of confectionery depends on the chemical composition, interactions between the main biopolymers and the structure of the products. The high hardness reduces the consumer properties of cookies, such products are difficult to bite. At the same time, products with low strength are easy to crumble (Дорохович та ін., 2015).

Hardness of low protein cookies was higher than hardness of traditional cookies. At the same time, using maltodextrin in low protein cookies increased hardness, while there was no significant difference in hardness of cookies made from corn starch and cookies made from blend of corn and tapioca starches.

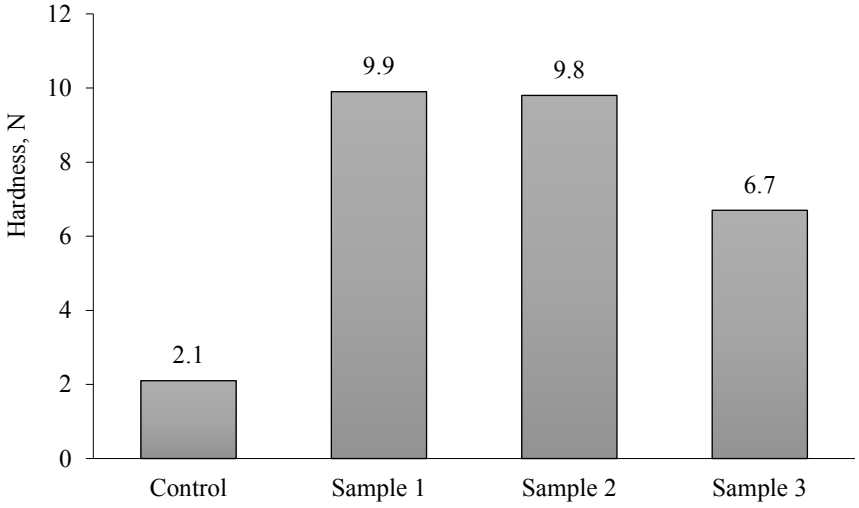


Fig. 5. Hardness of low protein cookies and traditional cookies from wheat flour

Conclusions

Gluten-free corn and tapioca starches are suitable, phenylalanine-free components for production of low protein cookies. Investigated low protein cookies recipe composition was made from corn and tapioca starches, xanthan gum and maltodextrin without flour, eggs and milk products, so the phenilalanin content is close to zero. Taste and quality indicators of investigated cookies were similar to traditional cookies from wheat flour. Cookies made from blend of corn and tapioca starches (in proportion 80 and 20% respectively), maltodextrin and xanthan gum had higher rating by sensory characteristics. Sample from corn starch and maltodextrin had the highest moisture content (8,0%) while sample from corn and tapioca starches and maltodextrin had the lowest moisture content (4,7%). Samples made from corn starch had comparatively the same water absorption capacity. The use of tapioca starch in the production of low-protein cookies can significantly increase this indicator, while use of maltodextrin can decrease it. Hardness of low protein cookies is higher than hardness of traditional cookies by 4.6—7.8 N.

References

Дорохович, А. М., & Ковбаса, В. М. (2015). Технологія та лабораторний практикум кондитерських виробів і харчових концентратів. *Київ Інкос*. http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription ?doc_id=309154.

Al Hafid, N., & Christodoulou, J. (2015). Phenylketonuria: a review of current and future treatments. *Translational pediatrics*,4(4), 304. https://doi.org/10.3978/j.issn.2224-4336.2015.10.07.

Brady, S. R. (2015). Utilizing and adapting the Delphi method for use in qualitative research. *International Journal of Qualitative Methods*, 14(5), 1609406915621381. https://doi.org/10.1177/1609406915621381.

Burgard, P., Ullrich, K., Ballhausen, D., Hennermann, J. B., Hollak, C. E., Langeveld, M., ... & Zschocke, J. (2017). Issues with European guidelines for phenylketonuria. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 5(9), 681-683. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30201-2.

Cleary, M. A., & Skeath, R. (2019). Phenylketonuria. *Paediatrics and Child Health*, 29(3), 111—115. https://doi.org/10.1016/j.paed.2019.01.001.

Firman, S., Witard, O. C., O'Keeffe, M., & Ramachandran, R. (2021). Dietary protein and protein substitute requirements in adults with phenylketonuria: a review of the clinical guidelines. *Clinical Nutrition*, 40(3), 702-709. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.11.003.

Food data (frida.fooddata.dk), version 4.2, (2022). *National Food Institute, Technical University of Denmark.*

Ford, S., O'Driscoll, M., & MacDonald, A. (2018). Living with Phenylketonuria: Lessons from the PKU community. *Molecular genetics and metabolism reports*, 17, 57—63. https://doi.org/10.1016/j.ymgmr.2018.10.002.

Hagedorn, T. S., van Berkel, P., Hammerschmidt, G., Lhotáková, M., & Saludes, R. P. (2013). Requirements for a minimum standard of care for phenylketonuria: the patients' perspective. *Orphanet journal of rare diseases*, 8(1), 1—8. https://doi.org/10.1186/1750-1172-8-191.

Hillert, A., Anikster, Y., Belanger-Quintana, A., Burlina, A., Burton, B. K., Carducci, C., ... & Blau, N. (2020). The genetic landscape and epidemiology of phenylketonuria. *The American Journal of Human Genetics*, 107(2), 234—250. https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2020.06.006.

Kose, E., & Arslan, N. (2019). Vitamin/mineral and micronutrient status in patients with classical phenylketonuria. *Clinical Nutrition*, 38(1), 197—203. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.01.034.

Krämer, J. (2020). Sustaining benefits of nutritional therapy in young adults with phenylketonuria-A 2 year prospective study. *Molecular genetics and metabolism reports*, 22. https://doi.org/10.1016/j.ymgmr.2020.100573.

Mohsen, S. M., Yaseen, A. A., Ammar, A. M., & Mohammad, A. A. (2010). Quality characteristics improvement of low-phenylalanine toast bread. *International journal of food science & technology*, 45(10), 2042—2051. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02365.x.

Nursten, H. E. (2005). The Maillard reaction: chemistry, biochemistry, and implications. Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1021/ja059794d.

Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & management*, 42(1), 15—29. https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002.

Scortegagna, M. L., de Oliveira, V. R., Pasini, I., Silva, M., de Oliveira Rios, A., & Doneda, D. (2019). Low phenylalanine breads as an alternative for patients with phenylketonuria. British Food Journal, 122(1), 26—35. https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2019-0213.

Wahlsten, D. (2019). *Genes, Brain Function, and Behavior: What Genes Do, How They Malfunction, and Ways to Repair Damage*. Academic Press. https://www.elsevier.com/books/genes-brain-function-and-behavior/wahlsten/978-0-12-812832-9.

ATTIA, Y., & ABD, E. S. (2011). Low phenylalanine pasta. *International Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(10), 128—135. https://doi.org/10.5897/IJNAM.9000025.

Zannini, E., Kingston, W., Arendt, E. K., & Waters, D. M. (2013). Technological challenges and strategies for developing low-protein/protein-free cereal foods for specific dietary management. *Food research international*, 54(1), 935—950. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.03.001.

УДК 338.439:339.166.8:664.1

ANALYSIS OF EU REGULATORY DOCUMENTS REGARDING THE QUALITY AND SAFETY OF SUGARS IN THE CONTEXT OF EXPANDING THE EXPORT POTENTIAL OF THE INDUSTRY

T. Chorna
State Tax University
N. Husiatynska
National University of Food Technologies

Key words:
Sugar
Beet sugar industry
Export potential
International sugar market
Regulatory restrictions
Sugar quality

Article history:
Received 16.05.2022
Received in revised form 31.05.2022
Accepted 14.06.2022

Corresponding author:
T. Chorna
E-mail:
chornayat@i.ua

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of regulatory documents of the European Union regarding the quality and safety of sugar in the context of expanding the export potential of the industry. The current state of the sugar market of Ukraine is researched. It is shown that under modern conditions, the production capacities of the domestic beet sugar industry allow to fully cover the country's internal sugar needs. It was established that the volume of sugar exports is currently insignificant, however, Ukraine has a successful experience of selling products on the world sugar market during 2017—2019 and is gradually expanding the geography of sales. An analysis of trade relations of Ukraine was carried out. It is shown that the European Union has been one of the largest importers of Ukrainian sugar in recent years.

An analysis of EU regulatory requirements for the export of food products from Ukraine was carried out. It was determined that currently Ukrainian sugar exporters should pay the main attention to non-trade restrictions, namely compliance of goods with the requirements of EU sanitary and phytosanitary regulations. General requirements for the quality and safety of food products and special requirements for product subcategory 1701991000 "White sugar" were studied.

The basic requirements for the quality and safety of sugar defined in the Codex Alimentarius CXS 212-1999 standard, Council Directive 2001/111/EC and DSTU 4623:2006 "White sugar. Specifications" was analyzed. It was established that the values of the key indicators of sugar quality according to DSTU 4623:2006 coincide with the requirements defined by Council Directive 2001/111/EC. At the same time, a significant drawback is the voluntary application of national standards, defined by the current legislation of Ukraine.

It is shown that the approval of the "Requirements for types of sugars intended for human consumption" in Ukraine will improve the regulatory and legal regulation of issues conected to sugar production. This will contribute to providing the domestic market with high-quality products and create prerequisites for expanding the export opportunities of the domestic beet sugar industry.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-15

АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЄС ЩОДО ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ЦУКРІВ У КОНТЕКСТІ РОЗШИРЕННЯ ЕКСПОРТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГАЛУЗІ

Т. М. Чорна
Державний податковий університет
Н. А. Гусятинська
Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена аналізу нормативних документів Європейського Союзу щодо якості та безпечності цукрі в контексті розширення експортного потенціалу галузі. Досліджено сучасний стан цукрового ринку України. Показано, що в сучасних умовах виробничі потужності вітчизняної бурякоцукрової галузі дають змогу повністю забезпечити покриття внутрішніх потреб країни у цукрі. Встановлено, що обсяг експорту цукру наразі є незначним, проте Україна має успішний досвід реалізації продукції на світовому ринку цукру протягом 2017—2019 рр. та поступово розширює географію продажів. Проведено аналіз торговельних зв'язків України. Показано, що одним з найбільших імпортерів українського цукру протягом останніх років виступає Європейський Союз.

Проведено аналіз регуляторних вимог ЄС для експорту продовольчих товарів з України. Визначено, що на сьогодні українським експортерам цукру основну увагу слід приділяти неторговельним обмеженням, зокрема дотриманню відповідності товарів вимогам санітарних і фітосанітарних правил ЄС. Вивчено загальні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів і спеціальні вимоги до для товарної підкатегорії 1701991000 «Цукор білий».

Проаналізовано базові вимоги щодо якості та безпечності цукру, визначені в стандарті Codex Alimentarius CXS 212-1999, Директиві Ради 2001/111/ЄС та ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови». Встановлено, що значення ключових показників якості цукру за ДСТУ 4623:2006 збігаються з вимогами, визначеними Директивою Ради 2001/111/ЄС. Водночас суттєвим недоліком виступає добровільність застосування національних стандартів, визначена чинним законодавством України.

Показано, що затвердження в Україні «Вимог до видів цукрів, призначених для споживання людиною» дасть змогу удосконалити нормативно-правове регулювання питань, пов'язаних з виробництвом цукру. Це сприятиме забезпеченню внутрішнього ринку продукцією високої якості та створить передумови для розширення експортних можливостей вітчизняної бурякоцукрової галузі.

Ключові слова: *цукор, бурякоцукрова галузь, експортний потенціал, міжнародний ринок цукру, регуляторні обмеження, якість цукру.*

Постановка проблеми. Останні роки Україна займає впевнену позицію на світовому ринку як одна з найпотужніших країн-виробників та експортерів аграрної продукції. За результатами 2020 р., український аграрний сектор сформував

18% ВВП України (приблизно 33 млрд дол. США), а експорт аграрної продукції у грошовому еквіваленті склав 22,2 млрд дол. США (Аграрне портфоліо 2021: потенціал українського експорту, 2021). Водночас наявність технічних бар'єрів (нормативно-технічних документів, які встановлюють вимоги до імпортованої продукції та процедур оцінки відповідності таким документам) може практично повністю нівелювати або значно мінімізувати позитивний вплив від будь-якої лібералізації торгівлі між учасниками певної зони вільної торгівлі. Відповідно, подолання технічних бар'єрів у торгівлі промисловою продукцією — важлива умова ефективного функціонування поглибленої та всеохоплюючої зони вільної торгівлі між Україною та ЄС, а також збільшення українського експорту товарів не тільки до ЄС, але й до інших держав (Доступ українських товарів до ринку ЄС. Угода АСАА, 2021). Перехід на міжнародні технічні регламенти, що визнаються в державах-членах ЄС та в інших державах світу, дає змогу знизити нетарифні бар'єри в торгівлі, покращити доступ української промислової продукції на ринки та стимулювати експорт. Крім того, в результаті усунення технічних бар'єрів у торгівлі між Україною та ЄС можна очікувати отримання доступу української продукції до ринку ЄС на умовах, що діють для держав-членів ЄС; повне визнання українських установ, що належать до системи технічного регулювання; членство України в європейській системі ринкового нагляду.

Вітчизняна бурякоцукрова галузь має стратегічне значення як з точки зору забезпечення внутрішнього ринку цукру, так і в контексті необхідності формування і зміцнення експортного потенціалу України. Перед виробниками цукру постає ряд проблемних питань, вирішення яких потребує державної підтримки. Вступ України до Світової організації торгівлі, підписання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом відкриває перед Україною світовий ринок цукру, конкуренція на якому буде чинити вплив і на внутрішній ринок (Gusatinska & Corna, 2015). Крім того, перешкоди для експорту українського цукру виникають унаслідок необхідності адаптації до світових та європейських стандартів значної кількості нормативно-правової та нормативно-технічної документації у сфері регулювання цукрової галузі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, пов'язані з дослідженням різних аспектів функціонування бурякоцукрової галузі знаходять своє відображення в працях багатьох науковців. Зокрема, фахівці приділяють увагу висвітленню загальних питань щодо поняття ринку цукру та тенденцій його розвитку (Мессель-Веселяк & Томілін, 2016; Мессель-Веселяк & Ярчук, 2013; Красняк, 2017; Красняк & Амонс, 2020; Коденська, 2010); дослідженню теоретичних, методологічних і практичних засад конкурентоспроможності продукції цукробурякового виробництва (Бондар, 2018; Бондар & Фурса, 2018); вивченню сучасного стану та перспектив вітчизняних цукрових виробників на внутрішньому та зовнішньому ринках, дослідженню ролі митної політики в розвитку бурякоцукрової галузі (Дзюбинський, Дзюбинська & Пододворний, 2021); вирішенню проблем якості продукції та вивченню тенденцій розвитку українського ринку цукру (Чернявська, 2010; Скорик, 2004; Стасіневич, 2014; Гавриляк & Годзюр, 2014). Однак невирішеними залишаються питання аналізу нормативних документів

Європейського Союзу щодо якості та безпечності цукрів у контексті розширення експортного потенціалу галузі.

Метою статті є дослідження експортного потенціалу бурякоцукрової галузі України, аналіз вітчизняних вимог до її продукції з точки зору відповідності міжнародним вимогам та їх значення для забезпечення внутрішнього попиту і виходу на міжнародні товарні ринки.

Матеріали і методи. Під час підготовки статті використано такі методи дослідження: збір інформації, її аналітичне опрацювання й теоретичне узагальнення, групування, порівняння; статистичні методи — для кількісної оцінки та аналізу експортного потенціалу бурякоцукрового виробництва; методи економіко-статистичного аналізу, зокрема табличний, для наочного відображення результатів дослідження; графічний — для ілюстрації динаміки показників розвитку цукрової галузі та її зовнішньоекономічної діяльності.

Інформаційною базою дослідження стали наукова і спеціальна література; відповідні законодавчі акти, а також міжнародні та національні нормативні документи, зокрема стандарт Codex Alimentarius CXS 212-1999, Директива Ради 2001/111/ЄС від 20.12.2001 р., ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови»; офіційні матеріали Європейської Комісії; статистичні дані Державної служби статистики України, Державної митної служби України, що демонструють тенденції розвитку цукрової промисловості в Україні та світі, динаміку показників експорту, міжнародного попиту, альтернативних і конкурентних ринків тощо; монографії та статті вітчизняних і зарубіжних авторів; матеріали періодичних видань тощо.

Викладення основних результатів дослідження. Агропромисловий комплекс України відомий у світі не лише зерновими культурами. Зокрема, експортним проривом в останні кілька років для України стали томатна паста, м'ясо птиці, пиво, цукор, мед, кондитерські вироби та інша продукція харчової та переробної промисловості, які суттєво розширили географію експорту — наразі українська продукція експортується до 175 країн світу (Аграрне портфоліо 2021: потенціал українського експорту, 2021).

Станом на 2021 р. — 1416,2 тис. т (Цукровий буряк 2022. Посівні площі. Переробні потужності. Залишки й експорт, 2022), хоча ще кілька десятиліть тому виробничі потужності бурякоцукрової галузі України дозволяли отримувати щороку понад 5 млн т цукру. Тобто за останні роки фактично відбулося коригування надвеликих обсягів виробництва до забезпечення внутрішнього ринку (рис. 1).

Наразі потужності цукрової галузі України дають можливість щороку виробляти близько 2,0 млн тонн бурякового цукру, що повністю забезпечує внутрішні потреби країни (1,1—1,2 млн тонн). До того ж аналіз даних Державної служби статистики свідчить про поступове зниження споживання українцями цукру. Так, станом на 2008 р. середньостатистичний українець впродовж року спожив близько 41 кг цукру й цукровмісних продуктів, а у 2020 р. — 28,5 кг (табл. 1). Таке зниження пов'язане як зі зміною культури харчування, так і зі зменшенням потреб у цукрі в суміжних галузях за рахунок застосування цукрозамінників (В Україні стартував сезон цукроваріння, 2021).

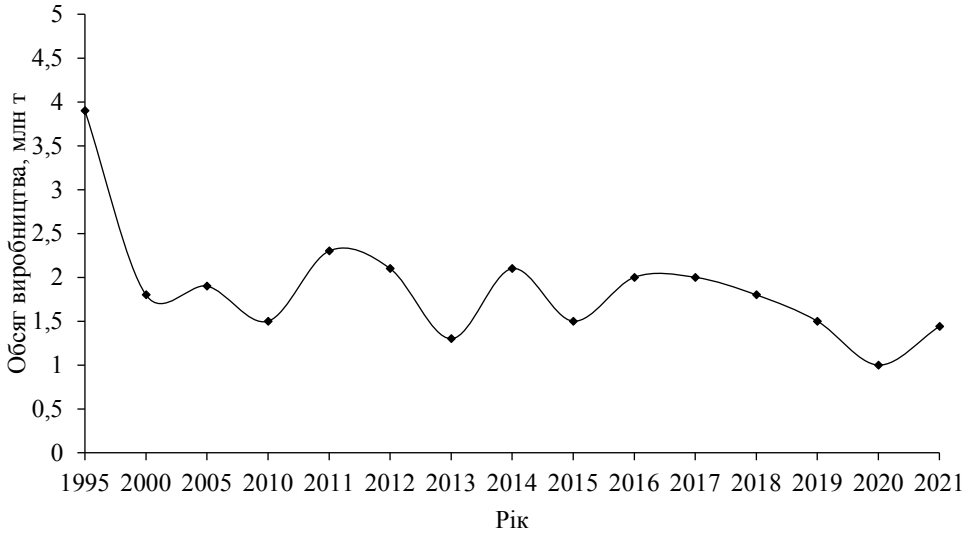


Рис. 1. Обсяги виробництва бурякового цукру в Україні у 1995—2021 рр., побудовано за даними (Державна служба статистики України, 1995—2021)

За даними UBTA (Українська асоціація бізнесу та торгівлі, 2021), в 2020 р. Україна посідала 35-е місце серед світових експортерів білого цукру, постачаючи на зовнішній ринок продукції на 59 млн дол. США (для порівняння, найбільший експортер — Бразилія за цей же період продала цукру на 8,7 млрд дол. США). Незважаючи на незначну частку України на світовому ринку цукру, зовнішня торгівля має певні досягнення. Так, протягом останнього десятиліття Україна розширила географію продажів цукру, збільшивши кількість країн-покупців з 7 до 26 (Світовий ринок цукру 2020/21. Позиції України на зовнішньому ринку, 2021). Згідно з аналізом даних Державної митної служби України за 2021 р., найбільшими країнами-імпортерами українського цукру від усього експорту (у грошовому еквіваленті) виступили Ізраїль (18,68%), Вірменія (18,58%) та Азербайджан (13,96%) (Імпорт, експорт цукру і меляси в Україні за січень-грудень 2021 року, 2022).

Слід відмітити, що Україна експортує не лише буряковий цукор, але й інші цукристі продукти. Відповідно до Української класифікації товарів зовнішньоекономічної діяльності (УКТЗЕД), цукор належить до товарної групи 17 «Цукор і кондитерські вироби з цукру». До цієї групи включаються не лише цукор як такий (тобто цукроза, лактоза, мальтоза, глюкоза і фруктоза), але також цукровий сироп, штучний мед, карамелізований цукор, меляса та кондитерські вироби з цукру (Про затвердження Пояснень до Української класифікації товарів зовнішньоекономічної діяльності, 2020). Твердий цукор і меляса цієї групи можуть містити ароматичні добавки та барвники.

Таблиця 1. **Баланс попиту і пропозиції цукру в Україні, тис. тонн*** (МР — маркетинговий рік (1 вересня — 31 серпня)

	2015/2016 МР	2016/2017 МР	2017/2018 МР	2018/2019 МР	2019/2020 МР	2020/2021 МР	2021/2022 МР (вересень-листопад)
Пропозиція продукції	**1980**	**2341**	**2384**	**2261**	**1831**	**1469**	**1381**
Внутрішнього ринку — всього*	1933	2339	2382	2259	1830	1429	1381
Залишки на початок періоду	503	331	242	439	350	255	141
Власне виробництво	1430	2008	2140	1820	1480	1174	1240
Зовнішнього ринку (імпорт)	47	2	2	2	1	40	0
Попит на продукцію	**1980**	**2341**	**2384**	**2261**	**1831**	**1451**	**366**
Внутрішнього ринку — всього*	1635	1490	1395	1370	1367	1380	345
в тому числі:							
Зовнішнього ринку (експорт)	132	770	560	413	94	71	21
Залишки на кінець періоду	213	81	429	478	370	141	1015
Споживання на особу, кг за рік	36,0	32,0	30,4	30,1	30,4	28,5	—

Примітка: * Без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим і м. Севастополя та тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Узагальнено авторами на основі даних (Міністерство економіки України, 2015—2021; Державної служби статистики України, 2015—2021 Науково-практичного центру цукробурякового виробництва, 2015—2021).

Загалом група включає чотири товарні позиції: 1701 — цукор з цукрової тростини або з цукрових буряків і хімічно чиста цукроза, у твердому стані; 1702 — інші цукри, включаючи хімічно чисті лактозу, мальтозу, глюкозу та фруктозу, у твердому стані; сиропи з цукрів без додання ароматичних добавок або барвників; мед штучний, змішаний або не змішаний з натуральним медом; карамелізовані цукор і патока; 1703 — патока (меляса), одержана внаслідок вилучення або рафінування цукру; 1704 — кондитерські вироби з цукру (включаючи білий шоколад) без вмісту какао. Так, наприклад, експорт інших цукрів за 2021 р. (код ТН ЗЕД 1702) становив 45725 тонн. Експорт меляси у 2021 р. склав 14070 тонн. При цьому найбільшими країнами-імпортерами меляси з України від усього експорту (у грошовому еквіваленті) у 2021 р. виступали Угорщина (42,78%), Литва (42,78%), Польща (8,16%) (Імпорт, експорт цукру і меляси в Україні за січень-грудень 2021 року, 2022). Узагальнена інформація щодо об'ємів експорту товарних позицій групи 17 у світовому масштабі представлені на рис. 2 та в табл. 2.

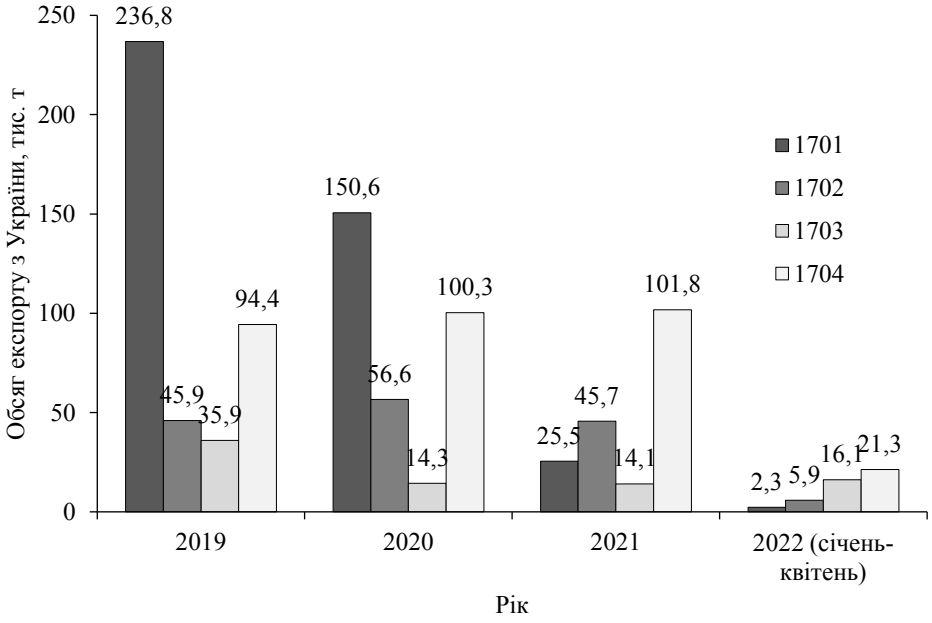


Рис. 2. Загальний обсяг експорту з України у розрізі товарної групи 17 «Цукор і кондитерські вироби з цукру» за кодами УКТ ЗЕД у 2019—2021 рр., тис. тонн, побудовано за даними (Державна митна служба України, 2019-2022)

Загалом, у сучасних умовах експортні можливості України щодо реалізації цукру є незначними. Одним з найбільших імпортерів українського цукру протягом останніх років виступав Європейський Союз — рис. 3 (Світовий ринок цукру 2020/21. Позиції України на зовнішньому ринку, 2021). За даними Державної митної служби України, у 2017—2021 рр. до ЄС щороку експортувалося цукру вітчизняного виробництва загальним обсягом на 16,92—4,04 6—12 млн дол. США (табл. 3).

Таблиця 2. **Загальний обсяг експорту з України в розрізі товарної групи 17«Цукор і кондитерські вироби з цукру» за кодами УКТ ЗЕД у 2019—2021 рр.,** млн дол. США. Побудовано за даними (Державна митна служба України, 2019—2022)

Рік	Експорт, млн дол. США				
	всього товарна група 17	товарна позиція 1701	товарна позиція 1702	товарна позиція 1703	товарна позиція 1704
2022 (січень—лютий)	37,94	1,26	5,31	1,27	30,1
2021	247,28	13,84	27,91	1,43	204,1
2020	250,95	59,73	20,24	1,56	169,42
2019	255,12	85,39	17,32	3,58	148,82
2018	368,56	218,03	12,12	3,56	134,86
2017	419,1	281,83	16,3	7,48	113,49

Для цукрового ринку характерна циклічність, за якої періодично кількарічний профіцит змінюється дефіцитом. Чотири роки тому вітчизняні виробники цукру успішно скористались світовим дефіцитом і вийшли на міжнародний ринок з досить великими обсягами експортованої продукції. Так, протягом 2017—2019 рр. експорт цукру становив від 770 до 413 тис. т щороку — на суму понад 200 млн дол. США (табл. 1, 3). Наразі, враховуючи коливання валютного ринку, пандемію, збройну агресію рф, стан бурякоцукрової галузі України доволі напружений (Виробництво цукру в Україні скоротилося на понад 22%, 2021). Останніми роками спостерігається тенденція до скорочення посівних площ під цукровими буряками, кількість працюючих заводів також зменшується. Як результат — знижуються обсяги виробництва та експортний потенціал.

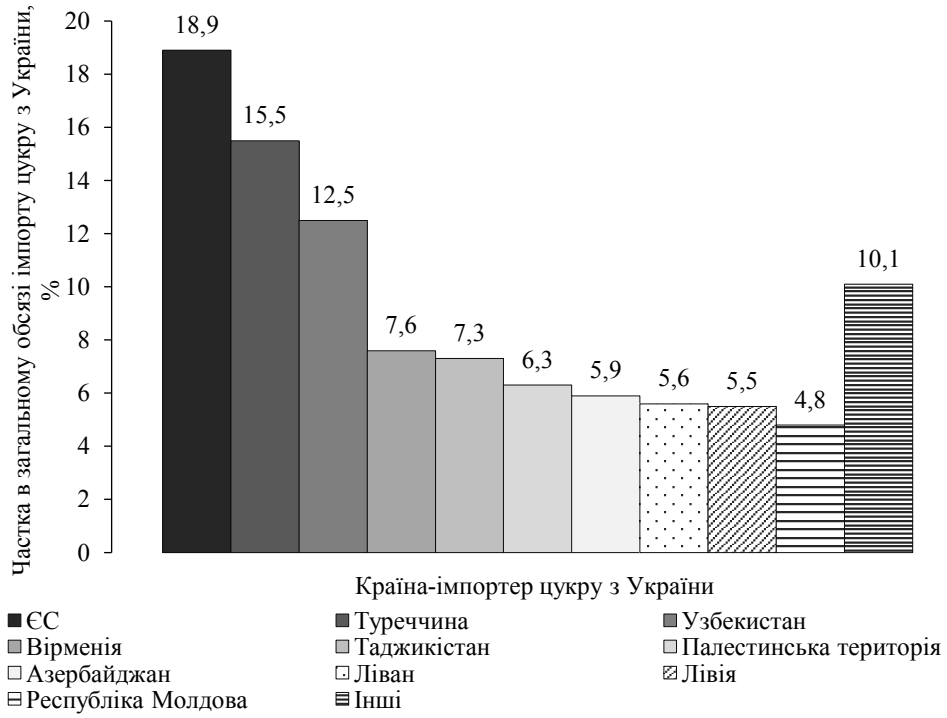


Рис. 3. ТОП-10 імпортерів українського цукру у 2020 році, побудовано за даними (Світовий ринок цукру 2020/21. Позиції України на зовнішньому ринку, 2021)

Для зміцнення позицій вітчизняних виробників цукру на міжнародних товарних ринках потрібно збільшити обсяги виробництва продукції. Ключовими факторами для успішної реалізації такого завдання виступають: створення відповідних ринкових умов, державна підтримка та забезпечення виробництва продукції з високими показниками якості. Значною мірою підвищення експортного потенціалу та створення передумов для виходу українських виробників на нові ринки збуту може бути досягнуте саме за рахунок планомірного підвищення якості продукції.

Таблиця 3. **Динаміка імпорту Європейським Союзом цукру з України протягом 2017—2021 рр.,** млн дол. США. Побудовано за даними (Державна митна служба України, 2019—2022)

Рік	Експорт, млн дол. США				
	всього товарна група 17	товарна позиція 1701	товарна позиція 1702	товарна позиція 1703	товарна позиція 1704
2022 (січень—лютий)	18,00	1,15	1,29	1,27	14,29
2021	115,49	4,04	4,04	1,36	106,06
2020	90,95	11,26	1,48	1,21	77,0
2019	74,38	16,3	0,46	3,43	54,19
2018	69,02	19,61	0,92	3,46	45,03
2017	53,30	16,92	3,36	5,51	27,51

Як було зазначено вище, одним із найбільших торговельних партнерів України є Європейський Союз. У 2021 р. експорт українських товарів і послуг до ЄС склав 26,8 млрд дол. США. В минулому році частка України в загальній торгівлі з ЄС склала близько 1,2%, що дозволило державі вийти на 15-у позицію серед торговельних партнерів ЄС (Державна служба статистики України, 2022).

Положення про створення поглибленої та всеохоплюючої зони вільної торгівлі (ПВЗВТ) є важливим елементом Угоди про асоціацію між Україною та ЄС (Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, 2014). ПВЗВТ спрямована на наближення України до ЄС за рахунок відкриття ринків для товарів і послуг та усунення бар'єрів для торгівлі. Європейським Союзом встановлено нульові імпортні ставки мита на понад 80% сільськогосподарської продукції з України, разом з тим широко використовується система тарифних квот для окремих груп товарів — товари можуть постачатись у певних обсягах за нульовою ставкою. При цьому імпорт зазначених товарів понад визначений обсяг підпадає під загальний режим імпорту, тобто оподатковуватиметься за тими ж умовами, які діяли до запровадження вільної торгівлі з ЄС.

Безмитні тарифні квоти ЄС передбачаються для 36 видів товарів, в тому числі й для цукру. Перелік тарифних квот для імпорту в Європейський Союз продукції Групи 17 «Цукор і кондитерські вироби з цукру» наведено в табл. 4.

Таблиця 4. **Перелік тарифних квот для імпорту в Європейський Союз продукції групи 17 «Цукор і кондитерські вироби з цукру»,** складено за даними (Енциклопедія з експортування в ЄС на засадах ПВЗВТ, 2016)

Продукція	Тарифна класифікація ЄС	Обсяг тарифної квоти
1	2	3
Цукор	1701 12 (10-90) 1701 91 (00) 1701 99 (10-90) 1702 20 (10) 1702 90 (30-50-71-75-79-80-95)	20070 т/рік, виражених у чистій вазі

Продовження таблиці 4

1	2	3
Інший цукор	1702 30 (10-50-90) 1702 40 (10-90) 1702 60 (10-80-95)	10000 т/рік, виражених у чистій вазі з поступовим збільшенням протягом 5 років до 20000 т/рік, виражених у чистій вазі
Оброблена продукція з цукру	1702 50 (00) 1702 90 (10) 1704 90 (99) (з вмістом цукру ≥70%)	2000 т/рік з поступовим збільшенням протягом 5 років до 3000 т/рік

Статистичні дані свідчать, що протягом 2016—2017 рр. тарифна квота ЄС на цукор вітчизняними виробниками була використана на 100% (Як досягти більшої лібералізації торгівлі з ЄС: стан використання тарифних квот ЄС Україною, 2020), в 2018 р. — на 85%, в 2019—2020 рр. — використана вся можливість безмитного ввезення. Причому в 2019 р. квоти на цукор були вичерпані до кінця січня, а 2020 р. — до кінця листопада (Квоти на експорт в ЄС: як швидко Україна використовувала в 2018—2020 роках, 2021). Щодо цукру, то квота в 2021 р. була використана на 87% через дефіцит на внутрішньому українському ринку цього виду продукту (Україна торік збільшила експорт агропродукції до ЄС на 33%, 2022).

4 червня 2022 року набув чинності Регламент Європейського парламенту та Ради № 2022/870 про тимчасові заходи з лібералізації торгівлі. Протягом року тарифи, визначені в Угоді, будуть тимчасово призупинені. Мова йде про мита для промислової продукції, призупинення застосування системи вхідних цін для фруктів та овочів і всіх тарифних квот для сільськогосподарської продукції (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2022/870, 2022).

Рішення ЄС передбачає скасування всіх торговельних обмежень для українського експорту, разом з тим неторговельні залишаються незмінними — це передусім стосується відповідності українських товарів європейським стандартам якості. Заходи, пов'язані з якістю та безпечністю товарів, відіграють вагому роль у регулюванні зовнішньої торгівлі.

Основна мета їхнього застосування — захист життя та здоров'я людей, навколишнього середовища та національної безпеки. Водночас активне застосування таких заходів перетворює їх на торговельні бар'єри, часто більш жорсткі, ніж класичні ввізні мита. Це насамперед санітарні та фітосанітарні заходи (СФЗ) для продовольчих товарів і технічні бар'єри в торгівлі (ТБТ) для промислових товарів (Зулгарін, 2021). Для того, щоб харчові продукти можна було продавати на ринку Європейського Союзу, вони повинні відповідати вимогам санітарних і фітосанітарних правилам ЄС — правилам, регламентам і процедурам, які гарантують, що споживачам постачаються безпечні продукти харчування. Зазначені заходи охоплюють харчову безпеку, здоров'я тварин і рослин, а також годування й добробут тварин. Санітарні та фітосанітарні заходи можуть бути застосовані для захисту здоров'я людей чи тварин від харчових ризиків, наприклад, добавок, забруднювачів, токсинів або хвороботворних організмів у продуктах харчування, напоях чи кормах; захист здоров'я людини від захворювань, які переносять тварини чи

рослини; тварин або рослин від шкідників чи хвороб або хвороботворних організмів, а також здоров'я лісів і дикої флори (Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, 2014).

Запровадження ПВЗВТ між Україною та ЄС відкриває нові можливості для виходу вітчизняної продукції на європейський ринок, якою зможуть скористатися виробники з чітким розумінням сучасних міжнародних законодавчих норм і процедур розвитку свого бізнесу. Наразі представникам бізнесу недостатньо переглянути виробничі комунікації, модернізувати виробництво, впровадити сучасні технології та моделі ведення бізнесу. Важливою і обов'язковою передумовою успішного виведення вітчизняної продукції на зовнішній ринок стає високий рівень поінформованості про міжнародні вимоги харчової безпеки та ступінь їх імплементації в національне законодавство. Тому важливим є вивчення основних нормативних документів, якими регламентуються торговельні операції на території ЄС.

Торгові ринки ЄС для третіх країн відкриває Директива 94/800/ЄС (The Council of the European Union. Council Decision 94/800/EC, 1994). Загальні принципи та вимоги харчового права, процедури безпечності харчових продуктів визначаються Регламентом ЄС 178/2002 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) № 178/2002, 2002). Регламент ЄС 2017/625 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2017/625, 2017) регулює питання державного контролю для перевірки відповідності вимогам харчового законодавства у всіх країнах-членах. Регламент ЄС 852/2004 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) № 852/2004, 2004) — вимоги щодо гігієни на всіх етапах виробництва харчових продуктів, а також санітарні та фітосанітарні заходи та стосується всіх харчових продуктів, незалежно від того, виготовлені чи завезені вони на територію ЄС.

Варто зауважити, що специфічні вимоги щодо безпечності залежать від походження харчових продуктів. Зокрема, для товарної підкатегорії 1701991000 «Цукор білий» актуальними у разі експорту продукції до ЄС є такі (Енциклопедія з експортування в ЄС на засадах ПВЗВТ, 2016; Портал для експортерів та імпортерів ЄС Access2Markets, 2022; Eur-lex. Access to European Union law, 2022): 1) контроль здоров'я генетично модифікованих (ГМ) продуктів і нових продуктів харчування; 2) контроль здоров'я харчових продуктів нетваринного походження; 3) простежуваність, дотримання відповідності і відповідальності щодо харчових продуктів і кормів; 4) маркування харчових продуктів; 5) вимоги щодо продукції з органічного виробництва (застосовуються добровільно).

Контроль здоров'я генетично модифікованих (ГМ) продуктів та нових продуктів харчування передбачає дотримання вимог Регламенту ЄС 1829/2003 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) № 1829/2003, 2003), який встановлює, що жодна особа не повинна розміщувати на ринку, використовувати або переробляти харчові продукти або корми, що складаються з ГМО і містять їх та виробляються з ГМО, якщо на них не поширюється дозвіл і не дотримуються положень про маркування. Вимоги щодо нових

продуктів харчування регулює Регламент ЄС 2015/2283 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2015/2283, 2015).

Імпорт продуктів харчування нетваринного походження до ЄС повинен відповідати загальному Регламенту ЄС 2017/625 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2017/625, 2017) — Регламент офіційного контролю, і конкретним положенням, спрямованим на запобігання ризику для здоров'я населення та захист інтересів споживачів.

Для товарної підкатегорії 1701991000 застосовуються такі загальні правила:

1) загальні правила гігієни харчових продуктів відповідно до Регламенту ЄС 852/2004 (The European Parliament and the Council of the European Union (2004). Regulation (EC) № 852/2004, 2004): зобов'язання оператора здійснювати контроль за безпечністю харчових продуктів і процесів, що знаходяться під його відповідальністю; загальні положення гігієни первинного виробництва та детальні вимоги до всіх етапів виробництва, переробки та розподілу харчових продуктів; мікробіологічні критерії, встановлені Регламентом ЄС 2073/2005 (The Commission of the European Communities. Commission Regulation (EC) № 2073/2005, 2005); процедури, засновані на принципах аналізу небезпеки та критичних контрольних точок (HACCP); затвердження та реєстрація закладів;

2) загальні умови приготування харчових продуктів: норми, що стосуються харчових добавок та ароматизаторів; правила щодо виробництва, збуту та імпорту харчових продуктів та харчових інгредієнтів тощо; специфічні положення щодо певних харчових продуктів (таких як какао, цукор тощо) та для продуктів, призначених для конкретного харчового використання (дитяче харчування, дієтичні продукти, продукти без глютену тощо);

3) офіційний контроль харчових продуктів, який здійснюється відповідно до вимог регламентів ЄС 2017/625 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2017/625, 2017)], 2019/2130 (The European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/2130, 2019), 2019/1793 (The European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/1793, 2019).

Простежуваність визначається законодавством ЄС як здатність відстежувати будь-які продукти харчування, корми, тварин або речовини на всіх етапах виробництва, переробки та дистрибуції. Ця вимога охоплює всі етапи виробництва, переробки та продажу до ЄС — від імпортера ЄС до рівня роздрібної торгівлі (Національний проєкт «Дія. Бізнес». Експортний напрям, 2022; Eur-lex. Access to European Union, 2022).

Усі продукти харчування, що надходять на ринок ЄС, повинні відповідати загальним правилам маркування та специфічні положення для певних груп товарів. Загальні правила маркування регулюються Регламентом 1169/2011 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) № 1169/2011, 2011), згідно з яким на упаковці або етикетці харчових продуктів повинна зазначатися така інформація: назва продукту, список інгредієнтів у порядку зменшення їх вмісту, маса нетто, мінімальний термін придатності, умови зберігання/використання, країна/місце походження, інструкція щодо застосування, хар-

чова цінність (обов'язкові дані — енергетична цінність, кількість жирів, вуглеводів, цукрів, білків, солі; добровільно можна включати інформацію про вміст крохмалю, волокон, вітамінів, мінералів тощо).

На продукти, що складаються або містять генетично модифіковані організми (ГМО) та харчові продукти, отримані від ГМО, поширюються вимоги щодо маркування відповідно до Регламенту ЄС 1829/2003 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) № 1829/2003, 2003) та Регламенту ЄС 1830/2003 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) № 1830/2003, 2003). Регламент ЄС 609/2013 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) № 609/2013, 2013) встановлює спеціальні вимоги щодо маркування харчових продуктів для цільового використання (дитяче харчування, дієтичні продукти для спеціальних медичних цілей, продукти харчування для зниження ваги, продукти харчування для спортсменів тощо). Регламент ЄС 1333/2008 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) № 1333/2008, 2008) та Регламент ЄС 1334/2008 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EC) № 1334/2008, 2008) встановлюють вимоги щодо маркування присутніх у продукті добавок та ароматизаторів. Положення про органічну продукцію встановлюються Регламентом ЄС 2018/848 (The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2018/848, 2018).

Окремі специфічні положення щодо маркування цукрів встановлюються Директивою Ради 2001/111/ЄС, вимоги якої спрямовані на удосконалення маркування деяких видів цукрів з метою більш детального інформування споживачів та запобігання введенню їх в оману. Директива 2001/111/ЄС встановлює особливі правила маркування попередньо упакованих продуктів вагою менше 20 г; цукрових розчинів; інвертного цукрового сиропу, що містить кристали; деяких продуктів, що містять більше 5% фруктози (The Council of the European Union. Council Directive 2001/111/EC, 2001).

Отже, плануючи експорт цукру з України до ЄС необхідно враховувати цілу низку регуляторних вимог — встановлені тарифні квоти, вимоги щодо загальної безпечності продукції, вимоги стосовно контролю за забруднювачами тощо. Кожна з регуляторних вимог передбачає дотримання відповідних директив і регламентів ЄС.

Базові законодавчі вимоги щодо якості та безпечності цукру, чинні в СОТ та ЄС, визначаються стандартом Codex Alimentarius CXS 212-1999 (CXS 212-1999. Standard for sugars, 1999), Директивою Ради 2001/111/ЄС від 20.12.2001 (The Council of the European Union. Council Directive 2001/111/EC, 2001). В Україні вимоги до якості цукру встановлюються згідно ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови».

Codex Alimentarius — міжнародні стандарти, методичні вказівки, норми і правила, спрямовані на гарантування безпечності та якості харчових продуктів, а також стимулювання добросовісної торгівлі продовольчими товарами (Codex Alimentarius, 2022). У багатьох країнах світу зазначені принципи закріплені на законодавчому рівні та є обов'язковими до виконання. Загалом, положення Codex Alimentarius мають рекомендаційний характер, тобто недотримання цих

вимог не передбачає юридичної відповідальності ні для країн, ні для підприємств. Проте ці положення, є корисними у багатьох аспектах, наприклад, Світова організація торгівлі (СОТ) використовує принципи Codex Alimentarius під час вирішення арбітражних суперечок; Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (FAO) та Всесвітня організація охорони здоров'я використовують Codex Alimentarius як науково-теоретичне підґрунтя для своїх досьє. Також у більшості країн керівні принципи CodexAlimentarius схвалені для гарантування безпеки харчових продуктів (Codex Alimentarius, 2022).

Стандарт на цукор Codex Alimentarius CXS 212-1999 прийнятий в 1999 р. та містить зміни від 2001 та 2019 років (CXS 212-1999. Standard for sugars, 1999). Стандарт поширюється на види цукрів, призначених безпосередньо для споживачів так як інгредієнтів у харчових продуктах. Зокрема, стандарт містить детальний опис і вимоги до тринадцяти видів цукрів, серед яких: білий цукор, білий цукор-пісок, цукрова пудра (цукор для обсипки), м'який білий цукор, м'який коричневий цукор, безводна глюкоза, глюкоза кристалічна гідратна, пудра з глюкози (глюкоза для обсипки), сироп з глюкози, сухий сироп з глюкози, лактоза, фруктоза (левулоза), тростинний цукор-сирець.

Документ містить положення щодо вмісту харчових добавок, забруднюючих речовин (важкі метали, пестициди) та санітарно-гігієнічні вимоги. Виробництво та подальший обіг продуктів, на які поширюються положення Стандарту, рекомендується здійснювати з дотриманням вимог відповідних розділів «Загальних принципів гігієни харчових продуктів» (CXC 1-1969), рекомендованих Комісією «Codex Alimentarius», та інших норм і правил, що стосуються цього продукту. Цукропродукти повинні відповідати всім мікробіологічним критеріям, передбаченим стандартом CXG 21-1997 «Принципами і методичними вказівками щодо встановлення та застосування мікробіологічних критеріїв, що стосуються харчових продуктів». Стандарт CXS 212-1999 передбачає відповідність вимог до маркування цукру положенням «Загального стандарту на маркування фасованих харчових продуктів» — CXS 1-1985. Крім того, висуваються також спеціальні вимоги, зокрема щодо найменування продукту та переліку інгредієнтів. Також стандарт регламентує вимоги щодо методів аналізу та відбору проб і містить додаткові показники складу та якості продукту.

Директива Ради 2001/111/ЄС від 20.12.2001 р. «Про певні види цукру, призначені для споживання в їжу» є основним документом, який встановлює вимоги до показників якості цукру, що реалізується на ринку Європейського Союзу. Директива 2001/111/ЄС застосовується до одинадцяти продуктів, визначених у додатку до документа, серед яких напівбілий цукор; цукор (білий цукор); екстра білий цукор; цукровий розчин; розчин інвертного цукру; інвертний цукровий сироп; сироп глюкози; сухий сироп глюкози; декстроза або моногідрат декстрози; декстроза або ангідридна декстроза; фруктоза (The Council of the European Union. Council Directive 2001/111/EC, 2001). Для кожного продукту регламентуються вимоги стосовно композиційних характеристик. Зокрема, для напівбілого цукру Директива регламентує значення показника поляризації, вмісту інвертного цукру та втрат при висушуванні; для цукру (білого цукру) встановлюються нормативні значення поляризації, вмісту інвертного цукру, втрат при висушуванні

та тип кольоровості; для екстра білого цукру — поляризації, вмісту інвертного цукру, втрат при висушуванні, тип кольоровості та кольоровість у розчині, вміст золи.

У зв'язку з тим, що пестициди, а також їх метаболіти або продукти розпаду можуть чинити негативний вплив на споживачів продуктів рослинного походження, законодавством ЄС також встановлено максимально допустимі рівні для залишків певних пестицидів у продовольчих товарах рослинного і тваринного походження та на їх поверхні. Регламентом ЄС 839/2008 (The Commission of the European Communities. Commission Regulation (EC) № 839/2008, 2008) визначено, зокрема, максимальні залишки пестицидів у цукрових буряках, цукровій тростині та корені цикорію.

Регламент ЄС 1881/2006 (The Commission of the European Communities. Commission Regulation (EC) № 1881/2006, 2006) встановлює максимальні рівні деяких контамінантів (в тому числі важких металів) у харчових продуктах, проте документом не конкретизовано максимально дозволені рівні забруднювачів саме для цукру. Це може бути пов'язано з тим, що важкі метали (кадмій, ртуть, миш'як та ряд інших) не справляють значного впливу на цукрову продукцію та не становлять небезпеки здоров'я споживачів (HACCP Concept of the Sugar Industry. Verein der Zuckerindustrie, 2006). Це твердження відповідає результатам оцінки Наукового комітету з харчування — Scientific Committee on Food (The Commission of the European Communities. Commission Regulation (EC) № 466/2001, 2001), а також знаходить відображення у повідомленні для Комісії ЄС щодо оцінки впливу миш'яку, кадмію, свинцю і ртуті на населення держав-членів ЄС (Assessment of the dietary exposure to arsenic, cadmium, lead and mercury of the population of the EU Member States, 2004).

Подібна ситуація спостерігається й з патогенними мікроорганізмами у цукрі. Мікробіологічні критерії харчових продуктів, що потрапляють на товарні ринки ЄС, встановлюються Регламентом ЄС 2073/2005 (The Commission of the European Communities. Commission Regulation (EC) № 2073/2005, 2005), який разом з тим не визначає рівні забруднень і мікробіологічні критерії для бурякового цукру. Цукор оцінюється як один з найбільш безпечних, з точки зору мікробного забруднення, продуктів. Значною мірою це обумовлено особливостями технологічного процесу виробництва цукру (зокрема високих температур), властивостями цукру та низькій здатності мікроорганізмів підтримувати життєдіяльність у концентрованих цукрових розчинах (Ковальська & Малчак, 2017; HACCP Concept of the Sugar Industry. Verein der Zuckerindustrie, 2006). Відповідно, необхідності нормувати конкретні мікробіологічні показники цукру у правових актах ЄС та стандартах не виникало.

В Україні на сьогодні вимоги до цукру, що виробляється вітчизняними цукровими заводами, встановлюються ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови». Згідно із стандартом, цукор залежно від способу виробництва поділяють на кристалічний, сахарозу для шампанського, цукрову пудру і пресований. Кристалічний цукор за показниками якості поділяють на чотири категорії: першу, другу, третю і четверту; пресований цукор — на три категорії: першу, другу і третю. Сахарозу для шампанського виробляють першої та другої категорій, цукрову пудру — першої, другої та третьої категорій.

ДСТУ 4623:2006 встановлює вимоги щодо органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників і вмісту токсичних елементів. Органолептичні показники передбачають контроль зовнішнього вигляду, запаху і смаку, а також чистоти розвину. У групі фізико-хімічних показників контролюються масова частка сахарози, редукувальних речовин, вологи, золи, кольоровість у розчині, масова частка феродомішок і величина їх окремих часток. За мікробіологічними показниками цукор для окремих споживачів (виробництво продуктів дитячого харчування, молочних консервів і біофармацевтичної промисловості) повинен відповідати вимогам, які встановлені МБВ № 5061 (Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування, 1989), зокрема за кількістю мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів, плісеневих грибів, дріжджів, бактерій групи кишкових паличок (колі форми), патогенних мікроорганізмів, в тому числі бактерій роду *Salmonella*. Вміст токсичних елементів у цукрі не повинен перевищувати допустимі рівні, встановлені МБВ № 5061 (Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування, 1989), зокрема стандартом передбачено контроль вмісту ртуті, миш'яку, свинцю, кадмію.

Крім того, можуть бути враховані сучасні додаткові вимоги замовника, зокрема щодо каламутності цукрових розчинів для виробництва безалкогольних і слабоалкогольних напоїв, вмісту сірчистого ангідриду та золи, pH розчинів цукру, коефіцієнта однорідності кристалів тощо.

Порівняльний аналіз національних та європейських вимог до показників якості цукру показує, що значення основних показників якості цукру, встановлені ДСТУ 4623:2006, збігаються з вимогами, що містяться в Директиві 2001/111/ЄС (табл. 5).

Таблиця 5. **Порівняння вимог ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови» з нормами Директиви 2001/111/ЄС**

	ДСТУ 462362006	**Вимоги Директиви2001/111/ЄС**
	Цукор першої категорії	**Екстра білий цукор**
1	2	3
поляризація — не менше ніж, %	99,7	99,7
масова частка інвертного цукру — не більше ніж, %	0,04	0,04
масова частка вологи — не більше ніж, %	0,1	0,06
тип забарвлення — не більше ніж, балів	6	4
вміст золи — не більше ніж, % — не більше ніж, балів	 0,027 15	 0,0108 6
кольоровість у розчині — не більше ніж	45 одиниць ICUMSA	22,5 одиниць ICUMSA (3 бали)
	Цукор другої категорії	**Білий цукор (цукор)**
поляризація — не менше ніж, %	99,7	99,7

Продовження таблиці 5

1	2	3
масова частка інвертного цукру — не більше ніж, %	0,04	0,04
масова частка вологи — не більше ніж, %	0,14	0,06
тип забарвлення — не більше ніж, балів	8	9
вміст золи — не більше ніж, %	0,04	
кольоровість у розчині —— не більше ніж	60 одиниць ICUMSA	
	Цукор третьої категорії	
поляризація — не менше ніж, %	99,61	
масова частка інвертного цукру — не більше ніж, %	0,05	
масова частка вологи — не більше ніж, %	0,1	
вміст золи — не більше ніж, %	0,04	
кольоровість у розчині — не більше ніж	104 одиниць ICUMSA	
	Цукор четвертої категорії	**Напівбілий цукор**
поляризація — не менше ніж, %	99,5	99,5
масова частка інвертного цукру — не більше ніж, %	0,065	0,1
масова частка вологи — не більше ніж, %	0,15	0,1
вміст золи — не більше ніж, %	0,05	
кольоровість у розчині — не більше ніж	195 одиниць ICUMSA	

За показником поляризації та масової частки інвертного цукру цукор першої категорії згідно з ДСТУ 4623:2006 відповідає характеристикам екстра білого цукру за Директивою 2001/111/ЄС. Проте вимоги Директиви 2001/111/ЄС щодо масової частки вологи, типу забарвлення, вмісту золи та показника кольоровості в розчині є більш жорсткими порівняно з вимогами українського стандарту. Вітчизняний цукор другої категорії за значенням показника поляризації та масової частки інвертного цукру відповідає білому цукру (цукру). Проте нормативне значення масової частки вологи, встановлене Директивою 2001/111/ЄС, майже вдвічі нижче (0,06% проти 0,14%), а тип забарвлення допускається до 9 балів (проти 8 балів у вітчизняному стандарті). За показником поляризації цукор четвертої категорії відповідає характеристиці напівбілого цукру, хоча Директива 2001/111/ЄС допускає вищий вміст інвертного цукру (0,1% проти 0,065%), проте встановлює більш жорсткі вимоги щодо вологості продукту (0,1% проти 0,15%). Продукт, який би відповідав характеристикам цукру третьої категорії, в Директиві 2001/111/ЄС відсутній.

Слід відзначити, що наразі застосування в Україні ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови» є добровільним. Так, Законом України «Про стандартизацію» встановлена модель національної стандартизації, відповідно до якої національні стандарти та кодекси усталеної практики застосовуються на добровільній основі**,** окрім випадків, коли обов'язковість їх застосування встановлена

нормативно-правовими актами (зокрема, національних стандартів стосується стаття 23; стандартів, прийнятих підприємствами — частина 2 статті 16). Це відповідає міжнародним та європейським нормам і принципам, а також зобов'язанням України в СОТ та Угоді про асоціацію (Чи встановлюють національні стандарти обов'язкові вимоги до продукції, 2021). Крім того, відповідно до Господарського кодексу України (ч. 2 ст. 15) застосування стандартів чи їх окремих положень є обов'язковим для: суб'єктів господарювання, якщо обов'язковість застосування стандартів установлено нормативно-правовими актами; учасників угоди (контракту) щодо розроблення, виготовлення чи постачання продукції, якщо в ній (ньому) є посилання на певні стандарти; виробника чи постачальника продукції, якщо він склав декларацію про відповідність продукції певним стандартам чи застосував позначення цих стандартів в її маркуванні. Галузеві нормативні документи також застосовуються на добровільній основі, крім випадків, якщо обов'язковість їх застосування встановлена нормативно-правовими актами (ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2021).

Зважаючи на це, в рамках виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом і реалізації Плану заходів з імплементації Угоди про асоціацію, Міністерство аграрної політики та продовольства України затвердило Вимоги до видів цукрів, призначених для споживання людиною (Наказ від 02.11.2017 № 592), які не лише адаптовані до європейських (Директива 2001/111/ЄС), але й узгоджуються з положеннями Codex Alimentarius (Вимоги до виробництва цукру приведено у відповідність до європейських, 2017). Вимоги до видів цукрів, призначених для споживання людиною, містять термінологію та вимоги до 11 видів цукрів (зокрема, екстра білого, білого, напівбілого цукру), призначених для споживання людиною.

Зазначений Наказ передбачає перехідний період і набирає чинності з 01 вересня 2022 року. Відповідно, з 01 вересня 2022 року Вимоги до видів цукрів, призначених для споживання людиною стають обов'язковими для вітчизняних виробників цукру. Як для тих, які експортують свою продукцію, так і для тих, які реалізують цукор на внутрішньому ринку.

Крім того, важливим є той факт, що документ встановлює обов'язкові вимоги не лише до власне цукру, але й до інших продуктів — глюкозно-фруктозних сиропів, декстрози, фруктози тощо. Зазначені види цукрів знаходять застосування не лише на вітчизняному ринку, але й виступають об'єктом експорту, тому гармонізація вимог до цих продуктів з вимогами ЄС сприятиме спрощенню процедури виходу вітчизняних виробників на європейський ринок та розширенню експортних можливостей України.

Виробництво та реалізація на внутрішньому ринку інших цукрів (в тому числі, коричневого) регулюється технічною документацією суб'єктів господарювання та спирається на чинні національні вимоги щодо безпечності харчових продуктів.

Висновки

Бурякоцукрове виробництво є важливою галуззю агропромислового комплексу України, оскільки цукор належить до основних продуктів харчування людини та виступає сировиною для багатьох промислових підприємств. У сучасних умовах вітчизняні цукрові заводи виробляють близько 2 млн т цукру, що повністю

забезпечує внутрішні потреби країни. Обсяг експорту цукру наразі є незначним, проте Україна має успішний досвід реалізації продукції на світовому ринку цукру протягом 2017—2019 рр. та поступово розширює географію продажів. Динаміка експорту української продукції в ЄС свідчить про постійно зростаючий інтерес до неї з боку європейських імпортерів.

Одним із ключових факторів підвищення експортного потенціалу галузі та створення передумов для виходу українських виробників на нові ринки збуту є забезпечення високої якості продукції, оскільки вимоги щодо якості та безпечності харчових продуктів відіграють вагому роль у регулюванні зовнішньої торгівлі.

Протягом тривалого періоду значення показників якості цукру, що виробляється в Україні, регулювалися ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови». Незважаючи на те, що основні вимоги стандарту практично повністю відповідають вимогам до цукру країн ЄС, визначеним Директивою Ради 2001/111/ЄС від 20.12.2001 р. «Про певні види цукру, призначені для споживання в їжу», суттєвим нюансом є добровільність застосування національних стандартів, визначена чинним законодавством України.

Високий рівень поінформованості про міжнародні вимоги харчової безпеки та ступінь їх імплементації в національне законодавство наразі є важливою і обов'язковою передумовою успішного виведення вітчизняної продукції на зовнішній ринок. Тому затвердження в Україні «Вимог до видів цукрів, призначених для споживання людиною» дасть змогу удосконалити нормативно-правове регулювання питань, пов'язаних з виробництвом цукру, що сприятиме забезпеченню внутрішнього ринку продукцією високої якості та створить передумови для розширення експортних можливостей вітчизняної бурякоцукрової галузі.

Література

Аграрне портфоліо 2021: потенціал українського експорту. (2021). Взято з https://export.gov.ua/news/3471-agrarne_portfolio__2021.

Бондар, В. С. (2018). Лібералізація ринку цукру в ЄС — як виклик цукровиробникам України. *Цукрові буряки*, 1, 8—9.

Бондар, В. С., Фурса, А. В. (2018). Бурякоцукрова галузь України в умовах нестабільності світового ринку цукру. *Економіка АПК,* 7, 37—46.

В Україні стартував сезон цукроваріння. (2021). Взято з https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=8167683e-4087-44ac-bea5-7d119b012603&title=VukrainiStartuvavSezon-Tsukrovarinnia.

Вимоги до виробництва цукру приведено у відповідність до європейських. (2017). Взято з https://minagro.gov.ua/news/vimogi-do-virobnitstva-tsukru-privedeno-u-vidpovidnist-do-evropeyskikh.

Виробництво цукру в Україні скоротилося на понад 22%. (2021). Взято з http://ukrsugar.com/uk/post/virobnictvo-cukru-v-ukraini-skorotilosa-na-ponad-22.

Гавриляк, М. Я. Годзюр, Т. (2014). Проблеми безпечності цукру білого за мікробіологічними показниками. *Товарознавчий вісник,* 7, 111—115.

Дзюбинський А. В., Дзюбинська О. В., & Пододворний О. Б. (2021). Митна політика та її вплив на ринок цукру в Україні. *Товарознавчий вісник*, 1(14), 18—25. https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2021-14-2.

Доступ українських товарів до ринку ЄС. Угода АСАА. (2021). Взято з https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/torgovelno-ekonomichne-spivrobitnictvo-ukrayina-yes/dostup-ukrayinskih-tovariv-do-rinku-yes-ugoda-asaa.

Енциклопедія з експортування в ЄС на засадах ПВЗВТ. (2016). Взято з https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/ugoda-pro-asociaciyu/bucklets/encyclopaediaukr-part1.pdf.

Зулгарін, В. Г. (2021). *Особливості міжнародних договорів у галузі регулювання міжнародних торгових відносин.* (Автореф. дис. канд. юр. наук). Інститут законодавства Верховної Ради України, Київ.

Імпорт, експорт цукру і меляси в Україні за січень-грудень 2021 року. (2022). Взято з http://sugarua.com/ua/sugarnews_ukr/lists/5835.

Квоти на експорт в ЄС: як швидко Україна використовувала в 2018-2020 роках. (2021). Взято з https://www.slovoidilo.ua/2021/01/29/infografika/ekonomika/kvoty-eksport-yes-yak-shvydko-ukrayina-vykorystovuvala-2018-2020-rokax.

Ковальська, М. М., Малчак, Е. Е. (2017). Мікробіологічні критерії для білого цукру. *Цукор України,* 5, 6—16.

Коденська, М. Ю. (2010). Тенденції розвитку і напрями активізації інвестування цукробурякового виробництва. *Економіка АПК,* 2, 74—78.

Красняк, О. П. (2017). Методичні підходи дослідження інтеграційних процесів в бурякоцукровому підкомплексі та структури ринку цукру. *Економіка. Фінанси. Право,* 5(1), 36—41.

Красняк, О. П., Амонс, С. Е. (2020). Ринок цукру: проблеми та перспективи. *Ефективна економіка,* 1. http://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.1.64.

Медико-біологічні вимоги і санітарні норми якості продовольчої сировини і продуктів харчування. № v5061400–89 (1989). Взято з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v5061400-89#Text.

Месель-Веселяк, В. Я., Томілін, О. О. (2016). Система структурних чинників та періоди розвитку бурякоцукрового підкомплексу. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка*, 1, 159—162.

Месель-Веселяк, В. Я., Ярчук, М. М. (2013). Організаційно-економічне удосконалення роботи цукробурякового підкомплексу України. *Економіка АПК*, 2, 3—8.

Про затвердження Пояснень до Української класифікації товарів зовнішньоекономічної діяльності. № 256 (2020). Взято з https://customs.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennia-perekhidnikh-tablits-vid-uktzed-versiyi-2012-r-do-uktzed-versiyi-2017-r-142.

Світовий ринок цукру 2020/21. Позиції України на зовнішньому ринку. (2021). Взято з https://latifundist.com/analytics/25-mirovoj-rynok-sahara-202021-pozitsii-ukrainy-na-vneshnem-rynke.

Скорик, К. Д. (2004). Вимоги до якості цукру в країнах Європейського Союзу. *Цукор України,* 1—2, 33—35.

Стасіневич, С. А. (2014). Покращення якості цукру — інноваційний напрям підвищення якості життя населення України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*, 200(1), 309—313.

Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони № 984_011 (2014). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.

Україна торік збільшила експорт агропродукції до ЄС на 33%. (2022). Взято з https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3388081-ukraina-torik-zbilsila-eksport-agroprodukcii-do-es-na-33.html.

Цукровий буряк 2022. Посівні площі. Переробні потужності. Залишки й експорт. (2022). Взято з https://latifundist.com/spetsproekt/964-tsukrovij-buryak-2022-posivni-ploshchi-pererobni-potuzhnosti-zalishki-j-eksport.

Чернявська, Л. І. (2010). Вимоги споживачів цукру до його якості. *Цукор України,* 1(57), 34—39.

Чи встановлюють національні стандарти обов'язкові вимоги до продукції. (2021). Взято з https://business.diia.gov.ua/handbook/standardization/ci-vstanovluut-nacionalni-standarti-obovazkovi-vimogi-do-produkcii.

Як досягти більшої лібералізації торгівлі з ЄС: стан використання тарифних квот ЄС Україною. (2020). Взято з https://kse.ua/wp-content/uploads/2020/01/Trade-Tarifni-kvoti-YES-dlya-Ukrayini.pdf.

Assessment of the dietary exposure to arsenic, cadmium, lead and mercury of the population of the EU Member States (2004). Взято з https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/cs_contaminants_catalogue_scoop_3-2-11_heavy_metals_report_en.pdf.

Gusatinska, N. A, Corna T. M. (2015). Stan obecny i perspektywy rozwoju ukraińskiego przemysłu burakacukrowego w kontekście procesów integracyjnych. *ZeszytyNaukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska,* 83, 215—224.

HACCP Concept of the Sugar Industry. Verein der Zuckerindustrie (2006). Взято з https://www.deutsche-melasse.de/wp/wp-content/uploads/Sugar-Industry-HACCP-Concept.pdf.

The Commission of the European Communities (2001). Commission Regulation (EC) № 466/2001 of 8 March 2001setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Взято з https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/52b2484d-39e0-4aa9-ba19-4b13a887bb1c.

The Commission of the European Communities (2005). Commission Regulation (EC) № 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32005R2073&qid=1656933165169.

The Commission of the European Communities (2006). Commission Regulation (EC) № 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1881&qid=1656935026766.

The Commission of the European Communities (2008). Commission Regulation (EC) № 839/2008 of 31 July 2008 amending: Regulation (EC) № 396/2005 of the European Parliament and of the Council as regards Annexes II, III and IV on maximum residue levels of pesticides in or on certain products. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008R0839&qid=1656934870715.

The Council of the European Union (1994). Council Decision 94/800/EC of 22 December 1994 concerning the conclusion on behalf of the European Community, as regards matters within its competence, of the agreements reached in the Uruguay Round multilateral negotiations (1986—1994). Взято з https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31994D0800:EN:HTML.

The Council of the European Union (2001). Council Directive 2001/111/EC of 20 December 2001 relating to certain sugars intended for human consumption. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32001L0111&qid=1656934657582.

The European Commission (2019). Commission Implementing Regulation (EU) 2019/2130 of 25 November 2019 establishing detailed rules on the operations to be carried out during and after documentary checks, identity checks and physical checks on animals and goods subject to official controls at border control posts. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R2130&qid=1656933361439.

The European Commission (2019). Commission Implementing Regulation (EU) 2019/1793 of 22 October 2019 on the temporary increase of official controls and emergency measures governing the entry into the Union of certain goods from certain third countries implementing Regulations (EU) 2017/625 and (EC) № 178/2002 of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Regulations (EC) № 669/2009, (EU) № 884/2014, (EU) 2015/175, (EU) 2017/186 and (EU) 2018/1660. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1793&qid=1656933507037.

The European Parliament and the Council of the European Union (2003). Regulation (EC) № 1830/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 concerning the traceability and labelling of genetically modified organisms and the traceability of food and feed

products produced from genetically modified organisms and amending Directive 2001/18/EC. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32003R1830&qid=1656934082183.

The European Parliament and the Council of the European Union (2002). Regulation (EU) № 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002R0178&qid=1656935346796.

The European Parliament and the Council of the European Union (2008). Regulation (EC) № 1334/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on flavourings and certain food ingredients with flavouring properties for use in and on foods and amending Council Regulation (EEC) № 1601/91, Regulations (EC) № 2232/96 and (EC) № 110/2008 and Directive 2000/13/EC. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008R1334&qid=1656934417369.

The European Parliament and the Council of the European Union (2008). Regulation (EC) № 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008R1333&qid=1656934334333.

The European Parliament and the Council of the European Union (2013). Regulation (EU) № 609/2013 of the European Parliament and of the Council of 12 June 2013 on food intended for infants and young children, food for special medical purposes, and total diet replacement for weight control and repealing Council Directive 92/52/EEC, Commission Directives 96/8/EC, 1999/21/EC, 2006/125/EC and 2006/141/EC, Directive 2009/39/EC of the European Parliament and of the Council and Commission Regulations (EC) № 41/2009 and (EC) № 953/2009. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0609&qid=1656934213884.

The European Parliament and the Council of the European Union (2003). Regulation (EC) № 1829/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32003R1829&qid=1656931537503.

The European Parliament and the Council of the European Union (2015). Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) № 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) № 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) № 1852/2001. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32015R2283&qid=1656932984590.

The European Parliament and the Council of the European Union (2017). Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls and other official activities performed to ensure the application of food and feed law, rules on animal health and welfare, plant health and plant protection products, amending Regulations (EC) № 999/2001, (EC) № 396/2005, (EC) № 1069/2009, (EC) № 1107/2009, (EU) № 1151/2012, (EU) № 652/2014, (EU) 2016/429 and (EU) 2016/2031 of the European Parliament and of the Council, Council Regulations (EC) № 1/2005 and (EC) № 1099/2009 and Council Directives 98/58/EC, 1999/74/EC, 2007/43/EC, 2008/119/EC and 2008/120/EC, and repealing Regulations (EC) № 854/2004 and (EC) № 882/2004 of the European Parliament and of the Council, Council Directives 89/608/EEC, 89/662/EEC, 90/425/EEC, 91/496/EEC, 96/23/EC, 96/93/EC and 97/78/EC and Council Decision 92/438/EEC. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0625.

The European Parliament and the Council of the European Union (2018). Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) № 834/2007. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0848&qid=1656934508100.

The European Parliament and the Council of the European Union (2022). Regulation (EU) 2022/870 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2022 on temporary trade-liberalisation measures supplementing trade concessions applicable to Ukrainian products under the Association Agreement between the European Union and the European Atomic Energy Community and their Member States, of the one part, and Ukraine, of the other part. Взято з https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/870/oj.

The European Parliament and the Council of the European Union (2004). Regulation (EC) № 852/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0852&qid=1656935285503.

The European Parliament and the Council of the European Union (2011). Regulation (EU) № 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers, amending Regulations (EC) № 1924/2006 and (EC) № 1925/2006 of the European Parliament and of the Council, and repealing Commission Directive 87/250/EEC, Council Directive 90/496/EEC, Commission Directive 1999/10/EC, Directive 2000/13/EC of the European Parliament and of the Council, Commission Directives 2002/67/EC and 2008/5/EC and Commission Regulation (EC) № 608/2004. Взято з https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1169&qid=1656933626527.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (http://sw.nuft.edu.ua).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (npnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздруківок на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
   - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
   - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
   - формулювання мети статті;
   - викладення основних результатів дослідження;
   - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA**. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі https://doi.org/....., якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватись у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків**: вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індекси 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. Індекси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається.** Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601
Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal "Scientific works of the National University of Food Technologies" invites you to the publication of your manuscripts (http://sw.nuft.edu.ua).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npnuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication;
- Extract from the minutes of the department / unit of the organization confirming that the manuscript is recommended for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered.

The number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
   - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
   - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
   - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
   - Presentation of the main material;
   - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references of their quotation should be presented after the text of the manuscript. **Bibliographic descriptions should be made according to international style APA.** Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format https: //doi.org/....., if it is, or a link to

the publication. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word "Table" and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should by typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net