

ISSN 2522-1221 (Print)
ISSN 2522-123X (Online)

ВІСНИК

ЛЬВІВСЬКОГО ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Збірник наукових праць

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

ВИПУСК 34

ЛЬВІВ
ВИДАВНИЦТВО ЛЬВІВСЬКОГО
ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
2023

Вісник Львівського торговельно-економічного університету / [ред. кол.: Пелик Л.В., Мережко Н.В., Донцова І.В. та ін.]. – Львів : Видавництво Львівського торговельно-економічного університету, 2023. – Вип. 34. – 76 с. – (Технічні науки).

Збірник наукових праць

Випуск 34

Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознавча перейменовано у Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки.

Згідно наказу МОН України № 409 (Додаток 1) від 17.03.2020 Вісник включено до Переліку наукових фахових видань України категорії “Б”.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ від 16.06.2016 р. Серія КВ № 22162-12062 ПР.

Друкується за ухвалою Вченої ради Львівського торговельно-економічного університету. Протокол засідання Ради № 15 від 30 червня 2023 року.

Редакційна колегія:

Пелик Леся Василівна, д.т.н., проф. (головний редактор);

Мережко Ніна Василівна, д.т.н., проф. (заступник головного редактора);

Донцова Інна Вікторівна, к.т.н., доц. (відповідальний секретар);

Арсеньєва Лариса Юріївна, д.т.н., проф.;

Артюх Тетяна Миколаївна, д.т.н., проф.;

Беднарчук Микола Степанович, к.т.н., проф.;

Гаврилишин Володимир Володимирович, к.т.н., доц.;

Доманцевич Ніна Іванівна, д.т.н., проф.;

Дубініна Антоніна Анатоліївна, д.т.н., проф.;

Ковбаса Володимир Миколайович, д.т.н., проф.;

Лозова Тетяна Михайлівна, д.т.н., проф.;

Омельченко Наталя Володимирівна, к.т.н., проф.;

Ошипок Ігор Миколайович, д.т.н., проф.;

Павлова Марія, Dr hab. inż., проф. (Республіка Польща);

Сидоренко Олена Володимирівна, д.т.н., проф.;

Стойкова Теменуга, Ph.D., доц. (Болгарія);

Відповідальний за випуск – д.е.н., проф. Семак Б. Б.

Видання індексується у наукометричних базах:

Ulrich's Periodicals, Index Copernicus, Google Scholar, World Cat

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

DOI: 10.36477/2522-1221

DOI: 10.36477/2522-1221-2023-34

Електронна версія: <http://journals-lute.lviv.ua/index.php/visnyk-tech>



ЗМІСТ

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Каленик О. С., Гусятинська Н. А., Григоренко Н. О.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРЕСОВОГО ВИЛУЧЕННЯ ЦУКРІВ
ЗІ СТЕБЕЛ СОРГО ЦУКРОВОГО.....5

Карпеченко А. А., Бобров М. М., Вороненко С. В., Олійник В. А.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ФОРМУВАННЯ
ЕЛЕКТРОДУГОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КЕРМЕТНИХ ПОКРИТТІВ
СИСТЕМИ СТАЛЬ 65Г – Cr_3C_213

Мельник О. П., Маринін А. І., Шевченко О. Ю., Літвинчук С. І., Святненко Р. С.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЯМР-СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ФАЛЬСИФІКАЦІЇ МЕДУ.....21

Пенкіна Н. М., Татар Л. В., Соколова Є. Б.

ФОРМУВАННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИВА
З ДОДАВАННЯМ ХВОЙНОГО ЕКСТРАКТУ.....32

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Любич В. В., Войтовська В. І.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ НАСІННЯ СОРТІВ АРАХІСУ.....40

Ощипок І. М., Онишко Л. Й.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ 46

Приліпко Т. М.

ГОЛОВНІ ЗАСАДИ НОРМАТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ
РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ У ПРОЦЕСІ ТОВАРООБІГУ.....55

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРТИЗИ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА БЕЗПЕКИ ГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМ

Бодак М. П., Гирка О. І., Філь М. І.

МІЖНАРОДНА ВЗАЄМОДІЯ З ПИТАНЬ ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ.....60

Ощипок І. М.

ОБІРУНТУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ГЕНЕРАТОРАМИ МІКРОМЕРЕЖІ
ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ТОРГІВЛІ..... 68

CONTENTS

MODERN DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF FOOD TECHNOLOGY

Kalenyk O. S., Husiatynska N. A., Hryhorenko N. O.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PRESS EXTRACTION OF SUGARS FROM SUGAR SORGHUM STALKS.....5

Karpechenko A. A., Bobrov M. M., Voronenko S. V., Oliynyk V. A.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE ELECTROPULSE EXPOSURE ON THE FORMATION OF ELECTRIC ARC COMPOSITE CERMET COATINGS OF THE SYSTEM STEEL 65G – CR₃C₂13

Melnyk O. P., Marynin A. I., Shevchenko O. Yu., Litvynchuk S. I., Svyatnenko R. S.

USING THE NMR SPECTROSCOPY METHOD TO STUDY THE IDENTIFICATION AND ADULTERATION OF HONEY.....21

Penkina N., Tatar L., Sokolova Ye.

FORMATION OF ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF BEER WITH THE ADDITION OF CONIFEROUS EXTRACT.....32

CHALLENGES AND PROSPECTS OF THE SYSTEM OF FOOD QUALITY CONTROL

Liubych V. V., Voitovska V. I.

TECHNOLOGICAL ASSESSMENT OF PEANUT VARIETIES SEEDS.....40

Oshchypok I. M., Onyshko L. Y.

MODERNIZATION AND CONVERSION OF REFRIGERATION EQUIPMENT.....46

Prylipko T. M.

MAIN PRINCIPLES OF REGULATORY REGULATION OF THE SAFETY OF FISH PRODUCTS IN THE TRADE PROCESS.....55

MODERN CHALLENGES OF EXPERT EXAMINATION, REGULATION AND SECURITY OF ECONOMIC SYSTEMS

Bodak M. P., Gyrka O. I., Fil M. I.

INTERNATIONAL INTERACTION IN ISSUES OF EXPORT AND IMPORT TRANSACTIONS.....60

Oshchypok I. M.

SUBSTANTIATION OF FUEL CONSUMPTION BY GENERATORS OF MICRO-GRID OF FOOD INDUSTRY AND TRADE ENTERPRISES.....68

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 664.134:633.62

Каленик О. С.,
kalenik.olya21@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1234-7063,
Researcher ID: ISU-0305-2023,
аспірантка проблемної науково-дослідної лабораторії,
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Гусятинська Н. А.,
ngusyatinska@ukr.net, ORCID ID:0000-0001-9999-6650,
Researcher ID: D-5051-2019,
д.т.н., проф., професор кафедри технології цукру і підготовки води,
Національний університет харчових технологій, м. Київ

Григоренко Н. О.,
grygorenko.na@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7291-6331,
Researcher ID: ADO-8329-2022,
к.т.н., завідувач лабораторії молекулярно-генетичного аналізу та технологічної якості,
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРЕСОВОГО ВИЛУЧЕННЯ ЦУКРІВ ЗІ СТЕБЕЛ СОРГО ЦУКРОВОГО

Анотація. Сучасні тенденції розвитку харчових технологій спрямовані на розширення асортименту безпечних і високоякісних продуктів, в тому числі за рахунок застосування альтернативної сировини. Цукрове сорго в Україні як технічна культура не є достатньо поширеною, що зумовлює необхідність проведення досліджень з метою вивчення динаміки накопичення цукрів у стеблах.

У виробництві цукровмісних сиропів важливим етапом є вилучення цільового компоненту, а саме цукрів з рослинної сировини. Метою наших досліджень було подальше вивчення та узагальнення відомостей щодо накопичення цукрів у стеблах сорго, а також технологічних аспектів їх вилучення для виробництва цукровмісних сиропів.

Представлено дослідження технологічних показників якості стебел цукрового сорго та здатності їх до пресування. Показано, що поряд зі збільшенням вмісту цукрів у стеблах, спостерігається підвищення вмісту сухих речовин, що призводить до зменшення кількості пресового соку. Підтверджено, що технологічні показники сорго цукрового залежать від сорту та терміну вегетації, що є важливим критерієм для підбору найбільш перспективних сортів для одержання харчових цукровмісних сиропів.

Проведено аналіз матеріального балансу процесу пресування для вилучення цукрів зі стебел цукрового сорго. Представлено теоретичні розрахунки виходу пресового соку, віджатого жмиху та вмісту цукрів у ньому, залежно від початкового вмісту сухих речовин і цукрів у стеблах, ступеня пресування. Підтверджено, що пресовий спосіб не забезпечує достатнього механічного розкриття клітин стеблової тканини, що зумовлює доцільність додаткового застосування екстракційного способу для знецукрення жмиху з віджатих стебел.

На основі теоретичних розрахунків одержано графічні залежності, що дозволяють прогнозувати кількість пресового соку та жмиху, а також вміст цукрів у жмиху після пресування.

Наведені результати дослідження представляють науково-практичний інтерес для виробництва та подальших досліджень технології цукровмісних сиропів з сорго цукрового.

Ключові слова: цукрове сорго, пресове вилучення цукрів, пресовий сік, харчовий сироп.

Kalenyk O. S.,

kalenik.olya21@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1234-7063,

Researcher ID: ISU-0305-2023,

Graduate Student of the Problem Scientific and Research Laboratory,

National University of Food Technologies, Kyiv

Husiatynska N. A.,

ngusyatynska@ukr.net, ORCID ID:0000-0001-9999-6650,

Researcher ID: D-5051-2019,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Sugar Technology and Water Preparation,

National University of Food Technologies, Kyiv

Hryhorenko N. O.,

grygorenko.na@gmail.com, ORCID ID:0000-0001-7291-6331,

ResearcherID: ADO-8329-2022,

Ph.D., Head of the Laboratory of Molecular Genetic Analysis and Technological Quality,

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PRESS EXTRACTION OF SUGARS FROM SUGAR SORGHUM STALKS

Abstract. *Current trends in the development of food technologies are aimed at expanding the range of safe and high-quality products, including through the use of alternative raw materials. Sugar sorghum in Ukraine as a technical crop is not widespread enough, which necessitates research to study the dynamics of sugar accumulation in stems.*

In the production of sugar-containing syrups, an important step is the extraction of the target component, namely sugars from vegetable raw materials. The purpose of our research was to further study and summarize information on the accumulation of sugars in sorghum stalks, as well as technological aspects of their extraction for the production of sugar-containing syrups.

The study of technological indicators of quality of sugar sorghum stalks and their ability to pressing is presented. It is shown that along with an increase in the sugar content in the stems, an increase in the solids content is observed, which leads to a decrease in the amount of pressing juice. It is confirmed that the technological indicators of sugar sorghum depend on the variety and growing season, which is an important criterion for the selection of the most promising varieties for obtaining edible sugar-containing syrups.

The material balance of the pressing process for the extraction of sugars from sugar sorghum stalks is analyzed. Theoretical calculations of the yield of pressed juice, pressed pulp and sugar content in it are presented, depending on the initial content of solids and sugars in the stems, the degree of pressing. It is confirmed that the pressing method does not provide sufficient mechanical opening of stem tissue cells, which determines the expediency of additional use of the extraction method for desugaring pulp from pressed stems.

On the basis of theoretical calculations, graphical dependences were obtained that allow predicting the amount of pressing juice and pulp, as well as the sugar content in the pulp after pressing.

The above results of the study are of scientific and practical interest for the production and further research of technology of sugar-containing syrups from sugar sorghum.

Key words: sugar sorghum, sugar extraction, pressed juice, food syrup.

JEL Classification: L 69, L 79

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-01

Постановка проблеми. В умовах погіршення продовольчої безпеки і якості харчування внаслідок включення у харчові вироби синтетичних цукрозамінників, суттєвої перспективи набуває виробництво органічної цукровмісної продукції з альтернативної сировини, а саме – сорго цукрового.

Цукрове сорго як сільськогосподарська культура поширена в багатьох країнах світу, оскільки вона характеризується невибагливістю до кліматичних умов та складу ґрунтів. Останніми роками на території України спостерігається погіршення режиму природного зволоження, що зумовлює необхідність вирощувати такі культури, які

в посушливих районах забезпечували б високі та стійкі врожаї [1]. Врожайність вегетативної маси змінюється залежно від сорту або гібриду сорго цукрового та строку збирання. Збирати вегетативну масу можна з III декади липня, оскільки частка стебел найвища [2].

Використання сорго сільгоспвиробниками різноманітне – виробництво борошна, крупи, спирту та крохмалю. Завдяки високому вмісту вуглеводів у соку стебел його застосовують як сировину для виробництва біоетанолу та харчового сиропу [3]. Суху масу стебел, після віджиму, переробляють на тверді види палива [4]. Цукровий сироп з сорго використовують в багатьох харчових продуктах, зокрема сироп з цукрового сорго може бути використаний в технології безалкогольних напоїв як джерело цукру та натуральний барвник [5].

У виробництві харчового сиропу важливим етапом є процес отримання соку зі стебел цукрового сорго для забезпечення повноти вилучення цукрів із сировини та зменшення вмісту сполук, що негативно впливають на подальші технологічні операції та якість готового продукту [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До складу цукристих речовин соку сорго входять в різних співвідношеннях дисахариди (цукроза, мальтоза) та моносахариди (глюкоза, фруктоза). Необхідно відмітити, що до складу соку з сорго цукрового входить великий перелік макро- та мікроелементів, зокрема: Са, Р, Mg, К, Na, Cu, Zn, Со, Mn, Fe, S, незамінні амінокислоти, вітаміни В1, В2, РР, Е, С [5; 7].

Технологія вилучення соку зі стебла сорго може бути реалізована в різних варіантах [8]. Для цього, зазвичай, використовують два методи: механічне відтискання соку зі стебел за допомогою пресів різної модифікації (вальцевих, шнекових тощо) та дифузійне вилучення розчинником – гарячою водою.

Сорго цукрове, як сировина, подібна до цукрової тростини за характером накопичення цукристих речовини у стеблах рослин, що передбачає подібність технології їх вилучення, зокрема шляхом подрібнення стебел на вальцьовому пресі та одержання пресового соку. Так, в роботі науковців [9] запропоновано застосування трьохвальцевих пресів. При цьому збільшення кількості вилученого соку, а відповідно і цукрів можна досягти за рахунок залучення багатоступеневих технологій екстрагування на вальцьових пресах. Автори [10] запропонували отримувати сік із стебел сорго шляхом пресування на вальцьових пресах за використання декількох ступенів віджиму

з протитечійним потоком соку для висолодження стебел сорго. За таких умов проведення процесу екстракції було отримано біля 87% цукрів від їх загального вмісту.

Постановка завдання. Цукрове сорго як технічна культура не є достатньо поширеною в Україні, що зумовлює необхідність її дослідження з метою вивчення потенційної можливості використання, зокрема, з точки зору накопичення цукристих вуглеводів. Залежно від особливостей сорту і фази збирання вміст цукру у соку цукрового сорго може варіюватися. Важливим етапом в традиційній технології виробництва цукровмісного сиропу з сорго цукрового є вилучення цільового компонента, а саме цукрів з сировини. Метою наших досліджень було подальше вивчення та узагальнення відомостей щодо технологічних аспектів вилучення цукрів зі стебел цукрового сорго для виробництва цукровмісних продуктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили спільно з науковцями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України на дослідних ділянках поля ІБКЦБ НААН України. Для досліджень використовували стебла цукрового сорго, що відбирали у вегетаційний період молочно-воскової та повної стиглості зерна. Необхідно зазначити, що для досліджень використовувалися сорти різної селекції, зокрема: Мамонт (СГП), Зубр (СГП), Віл (СГП), СУ (іноземна селекція), Мохавк (іноземна селекція).

Проби були відібрані у фазу молочно-воскової та повної стиглості таким чином, що дозволяло простежувати динаміку змін якості сировини для подальшого перероблення. У відібраних зразках стебел сорго визначали вміст цукрів та сухих речовин. Для одержання соку використовували 3-х вальцевий напівпромисловий прес.

На рис. 1 представлено динаміку накопичення загального вмісту цукрів у фазу молочно-воскової та повної стиглості у сортах цукрового сорго Мамонт(СГП), Зубр(СГП), Віл(СГП), СУ (іноземна селекція), Мохавк (іноземна селекція).

Необхідно зазначити, що найкращі результати за показником вмісту цукрів, продемонстрували такі сорти як Мамонт та Віл. Найменший вміст цукрів на період повної стиглості спостерігався у сортів Зубр, СУ та Мохавк.

На рис. 2 представлено динаміку вмісту вологи (води) у стеблах у фазу молочно-воскової та повної стиглості у сортах цукрового сорго.

Аналіз вмісту вологи (води) у стеблах за досліджуваній період продемонстрував його

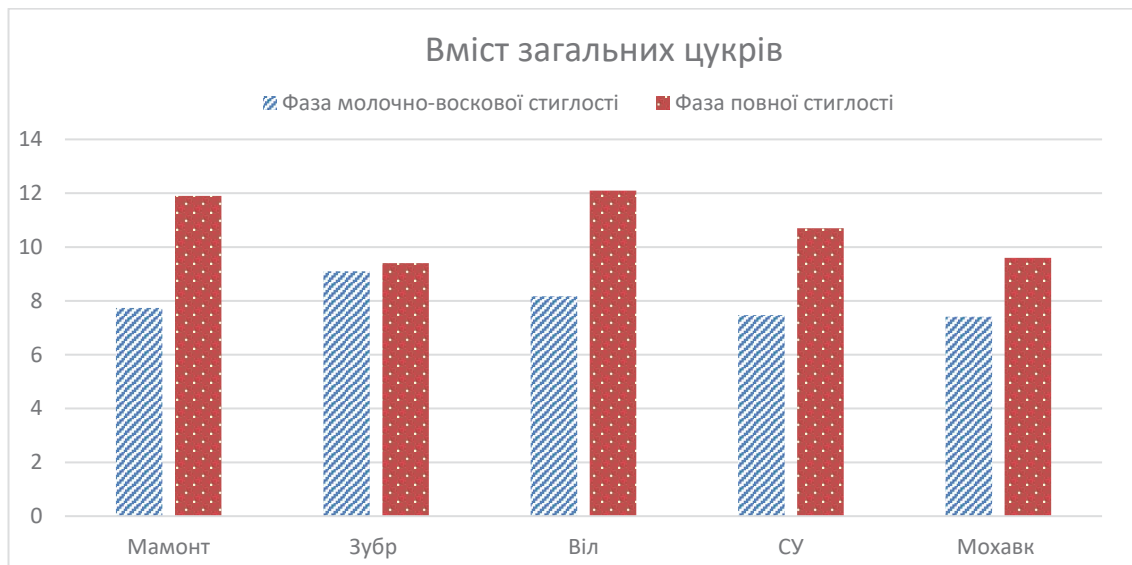


Рис. 1. Порівняльна динаміка накопичення цукрів для різних сортів сорго цукрового у фазу молочно-воскової та повної стиглості

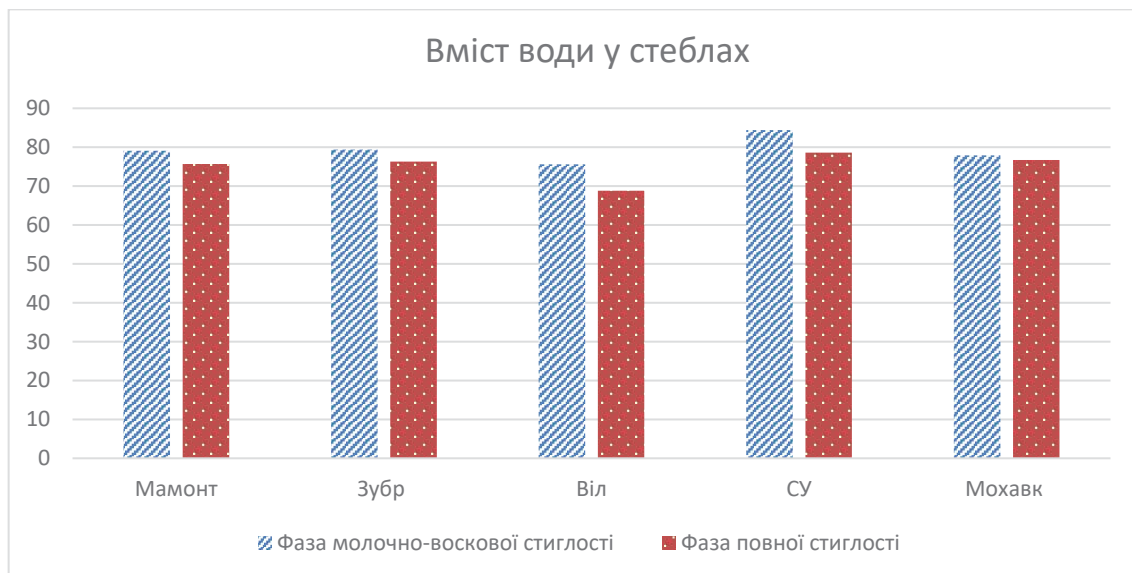


Рис. 2. Порівняльна динаміка вмісту вологи (води) у стеблах для різних сортів сорго цукрового у фазу молочно-воскової та повної стиглості

зменшення у всіх зразках, що пояснюється досягненням стадії технічної стиглості і подальшого переходу до біологічної стиглості сорго. Найбільші зміни відбулися у стеблах таких сортів як Віл (зменшення на 9%) та СУ (зменшення на 6,9%), незначні зміни мали такі сорти як Мамонт (зменшення на 4,3%) та Зубр (зменшення на 3,9%), найменші втрати соку були у сорту Мохавк (зменшення на 1,5%). З точки зору показників цукристості та вмісту соку у стеблах найбільш перспективними є сорти як Мамонт та Віл.

Отже, на основі аналізу результатів досліджень стебел цукрового сорго у фазу молочно-

воскової стиглості можна зробити висновок, що в середньому чистота клітинного соку становила 77,4...84,1%, залежно від сорту; загальний вміст цукрів – 7,4...9,1%; вміст сухих речовин у соку коливався в межах 8,7...10,8%. Вміст води (води) у стеблах сорго становив порядку 77,9...84,4% до маси стебел, а вміст сухих речовин відповідно 15,6...24,4%. Результати аналізів стебел цукрового сорго у фазу повної стиглості демонструють збільшення вмісту загального цукру у всіх досліджуваних сортах. Зокрема, в таких сортах як Мамонт та Віл, загальний вміст цукрів становив в середньому 12%. У зразках Зубр, Мохавк та СУ

вміст загальних цукрів не перевищував 10-11%, що не забезпечило досягнення технологічної зрілості сировини та пов'язано з сортовими особливостями та кліматичними умовами вирощування. Вміст сухих речовин у стеблах сорго різних сортів знаходився в межах 21,4-31,2%, відповідно води – 68,8...78,6% до маси стебел. Крім того, проведені дослідження показали, що за період вегетації сорго досягається достатнє для переробки накопичення цукристих речовин та досягається чистота клітинного соку в середньому 80-83,7%.

Первинним етапом і однією із основних стадій в технології цукровмісного продукту є процес вилучення цільового компоненту за умови найменших його втрат та одержання продукту високої чистоти, що в значній мірі визначає якість і вихід готового продукту. Особливістю цукрового сорго є накопичення цукристих речовин у стеблах рослини, що зумовлює подібність технології вилучення до переробки тростини, зокрема стадій подрібнення стебел на вальцювому пресі та одержання пресового соку.

Нами встановлено технологічні показники сировини та соків в процесі пресування з метою вилучення цукрів зі стебел сорго цукрового. Для досліджень було обрано сорт гібриду Мамонт (Одеська селекція СГІ НААН). В стеблах сорго визначали вміст цукрів, в пробах жмиху: вміст сухих речовин, цукрів – сахарози та редукувальних речовин.

Для проведення аналізу матеріального балансу продуктів в процесі пресування стебел визначали такі показники як: маса проби, масова частка: сухих речовин, загальних цукрів, редукувальних речовин та сахарози у свіжій сировині та у жмиху після пресування, також розраховували соковий коефіцієнт у свіжих стеблах.

Усереднені результати проведених експериментальних досліджень представлено у табл. 1.

Таким чином, у разі пресування стебел сорго досягається ефект вилучення цукрів порядку 35-40%. Значна частка соку, а відповідно і цукрів

залишається у жмиху – 8,74%. Це пов'язано з недостатньо високим соковим коефіцієнтом тканини стебел, а також з тим, що пресовий спосіб забезпечує тільки часткову руйнацію клітин стеблової тканини, з яких відбувається вилучення соку, тоді як значна частка соку знаходиться у нерозірваних клітинах і залишається у жмиху.

Нами проведені теоретичні розрахунки, які дозволяють прогнозувати вихід пресового соку, відповідно вихід та вміст цукрів жмиху після пресування. Відповідно, вихід жмиху після пресування стебел сорго розраховуємо за формулою:

$$V_{жм} = \frac{V_c * CP_{ст} * (1 - H_{пр})}{CP_{жм}}, \quad (1)$$

де $V_{жм}$ – вихід жмиху, %;

V_c – відсоткова кількість стебел, % (100%);

$CP_{ст}$ – масова частка сухих речовин в стеблах сорго.

$H_{пр}$ – нормативна величина втрат сухих речовин при пресуванні;

$CP_{жм}$ – вміст сухих речовин у жмиху після пресування;

Вихід пресового соку:

$$V_{пс} = V_c - V_{жм}, \quad (2)$$

де $V_{пс}$ – вихід пресового соку, %.

Залишковий вміст цукрів у жмиху після пресування стебел сорго розраховуємо з врахуванням масової частки сухих речовин після пресування та масової частки загальних цукрів та сухих речовин у вихідних стеблах сорго за формулою:

$$C_{жм} = \frac{C_{ст} \cdot \left(100 - \frac{V_{пс} \cdot 100}{V_c - CP_{ст}} \right)}{100}, \quad (3)$$

де $C_{жм}$ – вміст цукрів у жмиху після пресування, %;

$C_{ст}$ – масова частка цукрів у стеблах, %.

Таблиця 1.

Технологічні показники стебел сорго до та після пресування

Показники	Свіжа сировина	Жмих після пресування
Маса, кг	8,3	6,4
Масова частка, %:		
сухих речовин	26,0	31,4
загальних цукрів	10,26	8,74
редукувальних речовин	4,94	3,70
сахарози	5,32	5,15
Соковий коефіцієнт, %	78,5	-

На основі теоретичного обґрунтування матеріального балансу сировини та продуктів під час пресування (рівняння 1-3) проведено розрахунки з використанням програми Mathcad Professional, а саме: виходу пресового соку, жмиху та вмісту загальних цукрів у ньому. В якості змінних параметрів обрано вміст сухих та цукристих речовин у стеблах сорго до пресування, вміст сухих речовин жмиху після пресування, величина втрат сухих речовин при пресуванні.

На рис. 3 представлено розрахункову графічну залежність: виходу пресового соку від ступеня пресування – g (вмісту сухих речовин у пресованому жмиху). При визначенні залежностей виходу пресованого соку (B01-06) від ступеня пресування початкові значення вмісту сухих речовин у стеблах становили відповідно: 24%; 24,5%; 25%; 25,5%; 26%; 26,5%.

Аналіз залежностей, представлених на рис. 3 свідчить, що вихід пресованого соку зі стебел сорго може змінюватися в широких межах залежно від вихідних показників вмісту сухих речовин у стеблах та відповідно ступеня пресування. Так, у разі вмісту сухих речовин 24...25% у стеблах, що підлягають переробленню, вихід соку (при пресуванні до вмісту сухих речовин 32%) становитиме в середньому 28-30%. Зі збіль-

шенням ступеня пресування до 36% теоретичний вихід пресованого соку збільшиться до 35-37%.

Для розрахунку вмісту загального цукру у пресованому жмиху залежно від вмісту сухих речовин після пресування (рис. 4) приймали діапазон зміни початкового вмісту загального цукру у стеблах 12-17%: Gs01 – 12%; Gs02 – 13%; Gs03 – 14%; Gs04 – 15%; Gs05 – 16%; Gs06 – 17%. Діапазон зміни параметрів відповідно становив: g – 28...36%, x – 24...26,5%, S – 12...17%, за сталого значення нормативної величини втрат сухих речовин при пресуванні H – 0,069.

На основі експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків показано, що при пресуванні вихід соку в середньому становить 25-35% до маси стебел. На вихід соку впливає ступінь пресування стебел та вміст клітинного соку в стебловій тканині, що залежить від сортових особливостей сорго цукрового та термінів збирання.

Так, у табл. 2 наведено результати оцінки прогнозованого виходу продуктів при переробленні сорго різних сортів. Так, у разі аналізу проб сировини у період повної стиглості зерна (табл. 2) вихід пресового жмиху стебел для різних сортів становив порядку 53...79%, а вихід пресового соку відповідно 20,9...47,2%

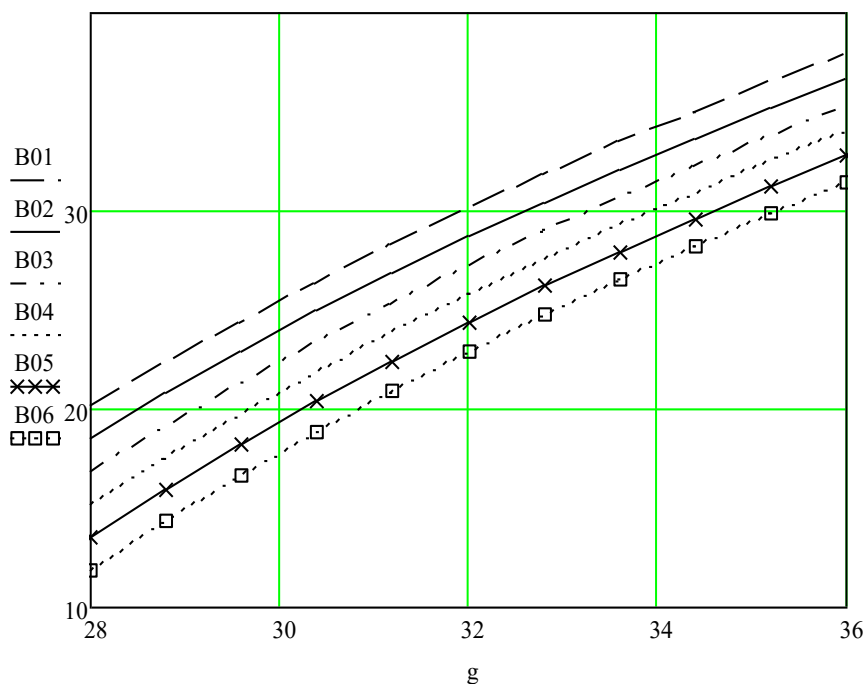


Рис. 3. Залежність виходу пресового соку (V) від вмісту сухих речовин після пресування (g) за значень початкового вмісту сухих речовин у стеблах відповідно, %: B01 – 24; B02 – 24,5; B03 – 25; B04 – 25,5; B05 – 26; B06 – 26,5

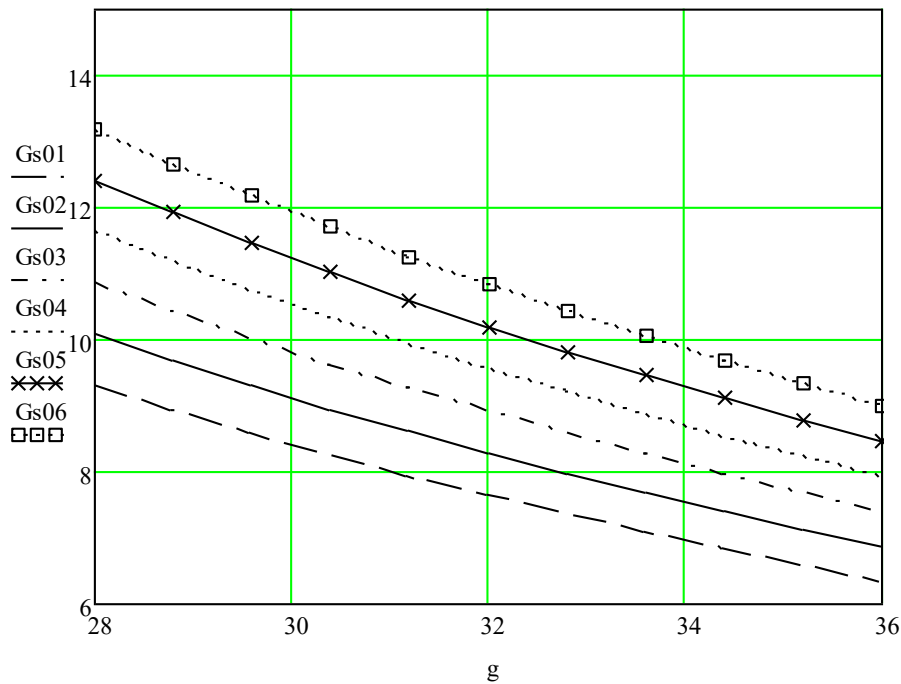


Рис. 4. Залежність вмісту цукру(G) у пресованому жмиху від масової частки сухих речовин після пресування (g) за значень початкового вмісту цукру у стеблах відповідно, %: G01 – 12; Gs02 – 13; Gs03 – 14; Gs04 – 15; Gs05 – 16; Gs06 – 17

Таблиця 2

Аналіз прогнозованого виходу продуктів при пресуванні стебел цукрового сорго різних сортів у фазу повної стиглості

Сорт	Вміст загальних цукрів у соку, %	Вміст СР у стеблі, %	Вміст СР у багасі після пресування, %	Вихід жмиху	Вихід пресового соку	Залишковий вміст цукрів у жмиху
Мамонт	11,9	24,3	35,2	63.8	36.1	6.2
Зубр	9,4	23,7	27,7	79.1	20.9	6.8
Віл	12,1	31,2	40,4	71.4	28.6	7.1
СУ	10,7	21,4	30,6	64.7	35.3	5.9
Мохавк	9,6	23,3	40,8	52.8	47.2	3.7

Найбільший прогнозований вихід пресового соку показав сорт Мохавк (47,2%), нижчі показники виходу соку відповідно для сортів СУ (35,3%) та Мамонт (36,1%).

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Показано, що технологічні показники сорго цукрового залежать від сорту та терміну вегетації, що є важливим критерієм для підбору найбільш перспективних сортів для одержання харчових цукровмісних сиропів.

На основі огляду літературних джерел було показано, що підвищення ефективності процесу **вилучення цукристих речовин** можна досягти за рахунок поєднання пресового та дифузійного методів.

Підтверджено, що пресовий спосіб не забезпечує достатнього вилучення цукрів з пресовим соком. На вихід соку впливає ступінь пресування стебел та вміст клітинного соку в стебловій тканині, що залежить від сортових особливостей сорго цукрового та термінів збирання.

Застосування запропонованих рівнянь для розрахунків матеріального балансу та графічних номограм дозволить прогнозувати вихід основних продуктів під час пресування сировини, що є основою для розрахунку технологічних параметрів та відповідно підбору технологічного обладнання для екстракційного процесу вилучення цукрів з пресованого жмиху.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Василенко Р. Агротехнологічні прийоми збільшення продуктивності сорго на Півдні України. Пропозиція. 2017. С. 82-85.
2. Моргун А. В., Пясецький П. І., Любич В.В. Продуктивність різних сортів і гібридів сорго цукрового за різних строків збирання, 2022. С. 163-173. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-163-173.
3. Володько О.І., Циганков С.П. Технологічні рішення з виділення, очищення та зберігання соку цукрового сорго для подальшої ферментації з метою отримання біоетанолу. Збірник наукових праць за матеріалами XVIII Всеукраїнської науково-технічної онлайн-конференції «Актуальні проблеми енергетики та екології». 2020. С. 243-247.
4. Олександрюк В. І., Омельченко Н. М., Кучерява В. А. Цукрове сорго як сировина для виробництва біоетанолу. Біологічні дослідження: Збірник наукових праць. 2015. С. 449-451.
5. Карпутіна Д. Д., Фролова Н. Е., Олійник С. І. Обґрунтування перспективності використання цукрового сорго в технології оздоровчих ферментованих напоїв. Харчова наука та технологія. 2014. С. 9-13.
6. Husiatynska N., Hryhorenko N., Kalenyk O., Husiatynskyi M., Teterina S. Studying the process of extracting sugary substances from the stalks of sweet sorghum in the technology of making food syrups. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. С. 17-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237785.
7. Rokaia Ramadan Abdelsalam, Waled Mohamed Abdel-Aleem, Hussein Ferweez, Evaluation of Some Technological Treatments on Juice Quality of Both Sugar Cane and Sweet Sorghum as Fresh Bever or Raw Material for Syrup (Black Honey) Production, International Journal of Nutrition and Food Sciences. 2020. Vol. 9. No. 4. С. 95-103.
8. Ліпєц А.А., Гусятинська Н.А. Сучасні способи інтенсифікації процесу екстрагування сахарози з бурякової стружки. Цукор України. Київ, 2015. № 1. С. 13-18, 44-50.
9. Monroe G.E., Nichols R.L., Bryan W.L., Sumner H.R. Sweet sorghum juice extraction with 3-roller mills. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). 1984. 27(3). С. 651-654. DOI: 10.13031/2013.32845.
10. Gnansounou E., Dauriat A., Wyman C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. Bioresource technology. 2005. 96(9). С. 985-1002.

REFERENCES:

1. Vasylenko R. Ahrotekhnolohichni pryioomy zbilshennia produktyvnosti sorho na Pivdni Ukrainy. Propozytsiia. 2017. S. 82-85.
2. Morhun A. V., Piasetskyi P. I., Liubych V.V. Produktyvnist riznykh sortiv i hibrydiv sorho tsukrovoho za riznykh strokiv zbyrannia. 2022. S. 163-173. DOI: 10.32782/2415-8240-2022-101-1-163-173.
3. Volodko O.I., Tsyhankov S.P. Tekhnolohichni rishennia z vydilennia, ochyshchennia ta zberihannia soku tsukrovoho sorho dlia podalshoi fermentatsii z metoiu otrymannia bioetanolu. Zbirnyk naukovykh prats za materialamy XVIII Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi onlain-konferentsii «Aktualni problemy enerhetyky ta ekolohii». 2020. S. 243-247.
4. Oleksandriuk V. I., Omelchenko N. M., Kucheriava V. A. Tsukrove sorho yak syrovyna dlia vyrobnytstva bioetanolu. Biolohichni doslidzhennia: Zbirnyk naukovykh prats. 2015. S. 449-451.
5. Karputina D. D., Frolova N. E., Oliinyk S. I. Obruntuvannia perspektyvnosti vykorystannia tsukrovoho sorho v tekhnolohii ozdorovchykh fermentovanykh napoiv. Kharchova nauka ta tekhnolohiia. 2014. S. 9-13.
6. Husiatynska N., Hryhorenko N., Kalenyk O., Husiatynskyi M., Teterina S. Studying the process of extracting sugary substances from the stalks of sweet sorghum in the technology of making food syrups. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. S. 17-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237785.
7. Rokaia Ramadan Abdelsalam, Waled Mohamed Abdel-Aleem, Hussein Ferweez, Evaluation of Some Technological Treatments on Juice Quality of Both Sugar Cane and Sweet Sorghum as Fresh Bever or Raw Material for Syrup (Black Honey) Production, International Journal of Nutrition and Food Sciences. 2020. Vol. 9. No. 4. S. 95-103.
8. Lipiets A.A., Husiatynska N.A. Suchasni sposoby intensyfikatsii protsesu ekstrahuvannia sakharozy z buriakovoї struzhky. Tsukor Ukrainy. Kyiv, 2015. № 1. S. 13-18, 44-50.
9. Monroe G.E., Nichols R.L., Bryan W.L., Sumner H.R. Sweet sorghum juice extraction with 3-roller mills. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). 1984. 27(3). S. 651-654. DOI: 10.13031/2013.32845.
10. Gnansounou E., Dauriat A., Wyman C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. Bioresource technology. 2005. 96(9). S. 985-1002.

Стаття надійшла до редакції 31 травня 2023 року

УДК 621.793.7

Карпеченко А. А.,

karpachenkoanton@gmail.com., ORCID ID: 0000-0002-7543-4159,

Scopus Author ID: 57194341724,

к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства і технології металів,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Бобров М. М.,

laborantmtm@gmail.com., ORCID ID: 0000-0002-9098-6912,

Scopus Author ID: 57194197238,

к.т.н., асистент кафедри матеріалознавства і технології металів,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Вороненко С. В.,

voronenko447@gmail.com., ORCID ID: 0000-0001-9606-6538,

к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики,

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

Олійник В. А.,

Директор товариства з обмеженою відповідальністю "ОЛДІ", м. Миколаїв

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КЕРМЕТНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ СТАЛЬ 65Г – Cr_3C_2

Анотація. Найбільш перспективним вирішенням проблеми зміцнення та відновлення зношених поверхонь деталей машин та механізмів є нанесення захисних газотермічних покриттів, зокрема з керметною структурою. Аналіз сучасної науково-технічної літератури показує, що в останній час найбільш широкі практичне застосування отримали керметні системи з карбідами хрому, титану та вольфраму, які характеризуються високою собівартістю через використання дорогих напилюваних матеріалів та високошвидкісних методів для їх нанесення. У роботі вперше отримано електродугові композиційні керметні покриття системи сталь 65Г- Cr_3C_2 з використанням порошку зміцнювальної фази у вільному вигляді за рахунок використання модернізованого електродугового розпилювача ЕМ-14М. Аналіз електронних знімків мікроструктури отриманих покриттів показав, що вони характеризуються пористістю близько 11,5%, в структурі добре диференціюються частинки Cr_3C_2 та сталі 65Г. Проведено ідентифікацію фаз шляхом визначення їх хімічного складу та встановлено, що вміст карбідної фази у покритті складає 15,4% (об.). Для підвищення фізико-механічних властивостей вказаних покриттів запропоновано використання електроімпульсної дії на оптимальних амплітудно-частотних параметрах (амплітуда 5 кВ, частота – 6,5 кГц), що характеризується простотою реалізації та використанням недорогого додаткового обладнання. Порівняльний металографічний аналіз оптичних знімків мікроструктур покриттів показав, що електроімпульсна дія забезпечує зменшення пористості керметного покриття системи сталь 65Г- Cr_3C_2 з 11,5% до 7,7%; спостерігається відсутність областей викришування частинок карбіду та зменшення розміру структурних складових покриття. Показано, що використання електроімпульсної дії забезпечує підвищення міцності зчеплення покриттів зі сталеву основою з 28 МПа до 34 МПа (+21,5%) та збільшення мікротвердості металевої матриці з 2,7 ГПа до 3,25 ГПа (+20%).

Ключові слова: електродугове напилення, керметні покриття, електроімпульсна дія, твердість, пористість.

Karpechenko A. A.,

karpechenkoanton@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7543-4159,

Scopus Author ID: 57194341724,

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of
Department of Materials Science and Metal Technology,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

Bobrov M. M.,

laborantmtm@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9098-6912,

Scopus Author ID: 57194197238,

*Ph.D., assistant of Department of Materials Science and Metal Technology,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

Voronenko S. V.,

voronenko447@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9606-6538,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of

*Department Kherson State Marine Academy,
Kherson State Maritime Academy, Kherson*

Oliylyk V. A.,

Director of "OLDI" Limited Liability Company, Mykolaiv

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE ELECTROPULSE EXPOSURE ON THE FORMATION OF ELECTRIC ARC COMPOSITE CERMET COATINGS OF THE SYSTEM STEEL 65G – Cr₃C₂

Abstract. *The most promising solution to the problem of strengthening and restoring the worn surfaces of machine parts and mechanisms is the deposition of protective thermal sprayed coatings, in particular with a cermet structure. The analysis of the scientific and technical literature shows that in recent times the most widely used cermet systems with carbides of chromium, titanium and tungsten, which are characterized by high cost due to the use of expensive sprayed materials and high-velocity methods for their deposition. In the work, for the first time, electric arc composite cermet coatings of the steel 65G-Cr₃C₂ system were obtained using the powder of the strengthening phase in free form due to the use of a modernized electric arc spraying gun EM-14M. The analysis of the microstructure of the obtained coatings showed that they are characterized by a porosity of about 11.5%, and the particles of Cr₃C₂ and steel 65G are well differentiated in the structure. Phases were identified by determining their chemical composition and it was established that the content of the carbide phase in the coating is 15.4% (vol.). In order to improve the physical and mechanical properties of the specified coatings, it is proposed to use electropulse exposure at optimal amplitude-frequency parameters (amplitude 5 kV, frequency – 6.5 kHz), which are characterized by ease of implementation and the use of inexpensive additional equipment. The comparative metallographic analysis of microstructures of the coatings showed that the electropulse exposure reduces the porosity of the cermet coating of the steel 65G-Cr₃C₂ system from 11.5% to 7.7%; there is an absence of areas of carbide particles pull-out and a decrease in the size of the structural components of the coating. It is shown that the use of electric pulse exposure provides an increase in the bond strength of coatings to the substrate made of steel 45 from 28 MPa to 34 MPa (+21.5%) and an increase in the microhardness of the metal matrix from 2.7 GPa to 3.25 GPa (+20%).*

Key words: electric arc spraying, cermet coatings, electropulse exposure, hardness, porosity.

JEL Classification: L 61

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-02

Постановка проблеми. Експлуатаційні властивості деталей та механізмів, а також ресурс їх роботи визначаються переважно фізико-механічними властивостями поверхні. Як показує статистичний аналіз, більшість машин (85...90%)

виходять з ладу не через поломку, а в результаті зношування поверхонь окремих деталей. На практиці існують різні способи вирішення проблеми зношування деталей різного обладнання, але найбільш вигідним і перспективним є нанесення

захисних покриттів на робочі поверхні методами газотермічного напилення (ГТН). Пояснюється це тим, що при усуненні зносу деталі, маса матеріалу, що наноситься, зазвичай становить 2...4%, а вартість ремонту не перевищує 10...30% від вартості нової. Слід зазначити, що серед методів ГТН саме електродугове напилення вирізняється простотою, високою продуктивністю, енергетичним ККД та коефіцієнтом використання матеріалу. Відносна вартість електродугових покриттів у 3...10 разів нижча в порівнянні з іншими методами ГТН. Однак покриття, отримані за традиційними технологіями напилення, не завжди забезпечують достатній рівень фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, необхідний для ефективної роботи деталей та механізмів у заданих умовах. Для вирішення цієї проблеми останнім часом все частіше застосовують композиційні керметні покриття, що складаються з металевої матриці, в основному на основі сплавів нікелю, кобальту або заліза, та зміцнювальної фази, головним чином карбідів вольфраму, хрому або титану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Газотермічні покриття з керметною структурою є найбільш широко поширеним класом покриттів, що захищають поверхню деталей від різних видів зношування [1]. В останній час їм приділяється особлива увага у зв'язку з можливістю їх застосування в якості альтернативи покриттям з твердого хрому, що дозволяє вирішити одне з сучасних завдань захисту навколишнього середовища [2-4]. Найбільш широке практичне застосування отримали керметні системи WC-Co і Cr₃C₂-NiCr [1, 4]. Провідними світовими фірмами «Starck» (Німеччина), «Sulzer» (США), «Praxair» (США) проведена розробка складів і освоєний ряд технологій виготовлення порошків цих матеріалів, спеціалізованих за своїми властивостями для використання на установках холодного газодинамічного, детонаційного, високошвидкісного газополуменевого та плазмового напилення [5-8]. Дані матеріали випускаються у вигляді або механічних сумішей порошків карбідів і матричного сплаву, або порошків конгломератів компонентів кермету, які пройшли попередні технологічні операції спікання-дроблення механічної суміші або її конгломерування – спікання.

Практичний інтерес викликають дослідження саме зносостійкості керметних покриттів. Так у роботі [9] досліджено вплив параметрів високошвидкісного газополуменевого напилення (кута та дистанції напилення) на зносостійкість керметних покриттів системи WC-17Co. На

поверхні тертя спостерігаються місця викришування частинок карбідної фази і відповідно канавки тертя на поверхні зразку. Таким чином можна говорити про досить низьку когезійну міцність покриттів, отриманих з вказаного порошку. Таким чином, до недоліків покриттів, нанесених зазначеними методами, слід віднести їхню високу собівартість, пов'язану із застосуванням дорогих плакованих або агломерованих порошків та їх сумішей; горючих та інертних газів; обов'язкове використання дорогого обладнання для нанесення; високі вимоги до кваліфікації робітників.

Щодо електродугових керметних покриттів, то їх одержують розпиленням порошкових дротів різних складів [10-12]. Використання порошкових дротів для одержання композиційних покриттів призводить до підвищеної пористості, що негативно позначається на комплексі фізико-механічних властивостей. При цьому підвищується їхня вартість. Для зносостійких композиційних покриттів характерний високий рівень залишкових напружень, що викликає появу мікро- і макротріщин, а також недостатню когезійну та адгезійну міцність. Особливо це притаманно для покриттів значної товщини, які у процесі механічної обробки шліфуються під ремонтні розміри.

Для вирішення означених проблем, авторами робіт [13, 14, 15] пропонується використання модернізованого розпилювача та порошку зміцнюючої фази у вільному вигляді для нанесення покриттів різноманітних складів. Так нанесено металополімерні [13], металокерамічні та металокермічні композиційні покриття [14]. Однак сформовані електродугові покриття характеризуються зниженою міцністю зчеплення з основою та когезійною міцністю, що приводить до викришування частинок зміцнювальної фази при роботі у вузлах тертя. Для підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей електродугових покриттів запропоновано використання електроімпульсного впливу на дистанції напилення [16], що забезпечує додаткове подрібнення та прискорення напилюваних частинок у високо-температурному гетерофазному струмені.

Постановка завдання. Мета роботи полягає у дослідженні впливу електроімпульсної дії при напиленні на формування електродугових композиційних керметних покриттів, визначенні їх фізико-механічних властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом досліджень обрані електродугові композиційні керметні покриття, отримані шляхом роз-

пилення суцільнотягнутого сталевих дроту марки 65Г і порошку карбіду хрому (Cr_3C_2) на підкладку, виготовлену з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45. Підготовку поверхні зразків здійснювали безпосередньо перед напленням за допомогою установки струменево-абразивної обробки марки 026-7 «Ремдеталь». Як абразив використовували електрокорунд марки 7Б, шліфзерно номер 125. Для наплення керметних електродугових покриттів використовували установку КДМ-2, укомплектовану апаратом ЕМ-14М з модернізованим ковпаком розпилювальної голівки, призначеним для безперебійної подачі частинок порошку у високотемпературну зону дугового розряду [15]. Для запобігання налипанню розплавлених частинок на бронзове робоче сопло використовували дріт діаметром 1,2 мм. Наплення здійснювали на сталеві пластини, виготовлені з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45 розміром $50 \times 20 \times 5$ мм і на зразки, які призначені для визначення міцності зчеплення покриттів з основою. Параметри технологічного режиму наплення обиралися виходячи з попередніх досліджень щодо формування композиційних керметних покриттів [14] та становили: сила струму – 120 А, напруга на дузі – 30 В, тиск стисненого повітря – 0,6 МПа, дистанція наплення – 100 мм.

Порошок карбіду хрому перед напленням прожарювали в сушильній шафі марки ШСВ 3,5.3.5.6/3,5 при температурі 150 °С протягом 3 годин. Ситову класифікацію порошоків, проводили на лабораторній установці модель 029, використовуючи сітку номерів 004 і 008. В результаті просіву виділено порошки фрак-

цією 40...80 мкм, які застосовувалися для отримання композиційних керметних електродугових покриттів. Металографічні дослідження та визначення хімічного складу методом рентгеноспектрального аналізу проводили на скануючому електронному мікроскопі ZEISS Gemini SEM 500. Порівняльний металографічний аналіз при невеликих збільшеннях виконували за допомогою оптичного мікроскопу ММУ-3. Мікротвердість покриттів визначали за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 на поперечних шліфах при навантаженні на індентор 100 г.

Результати досліджень. На рис. 1 наведено мікроструктуру керметного електродугового покриття на різних збільшеннях.

Аналіз мікроструктур показав, що покриття має пористість близько 11,5%, добре диференціюються частинки карбіду хрому темного кольору, границя поділу «покриття-основа» не містить включень та відшарувань. Спостерігаються області викришування частинок карбідної фази під час підготовки мікрошліфів, що пояснюється низькою когезійною міцністю покриття. Для ідентифікації фаз проводили хімічний аналіз за точками (рис. 2).

Результати показали, що хімічний склад зазначеної фази складається з 14,43% вуглецю і 85,57% хрому. Як відомо, молярна маса карбіду хрому (Cr_3C_2) становить 180 г/моль. З них хром становить 86,7% (мас.) (156 г/моль), а вуглець 13,3% (мас.) (24 г/моль). Таким чином, отримані результати відповідають стехіометрії даної хімічної сполуки і дають підстави з упевненістю віднести темну фазу до карбіду хрому.

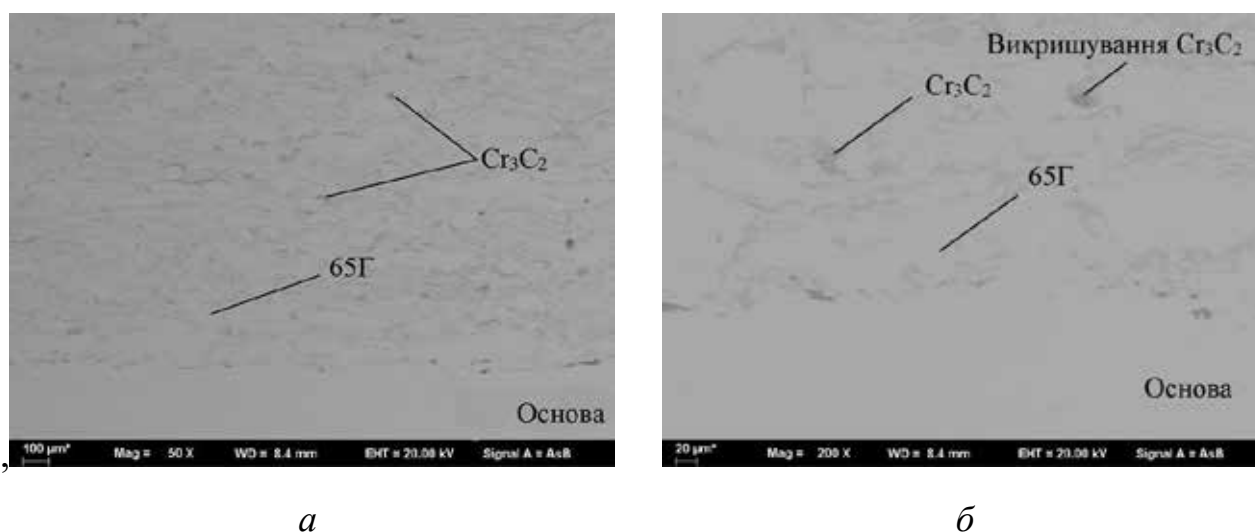


Рис. 1. Мікроструктура композиційного керметного покриття системи сталь 65Г- Cr_3C_2 , отримана за допомогою електронного мікроскопу: а - $\times 50$; б - $\times 200$

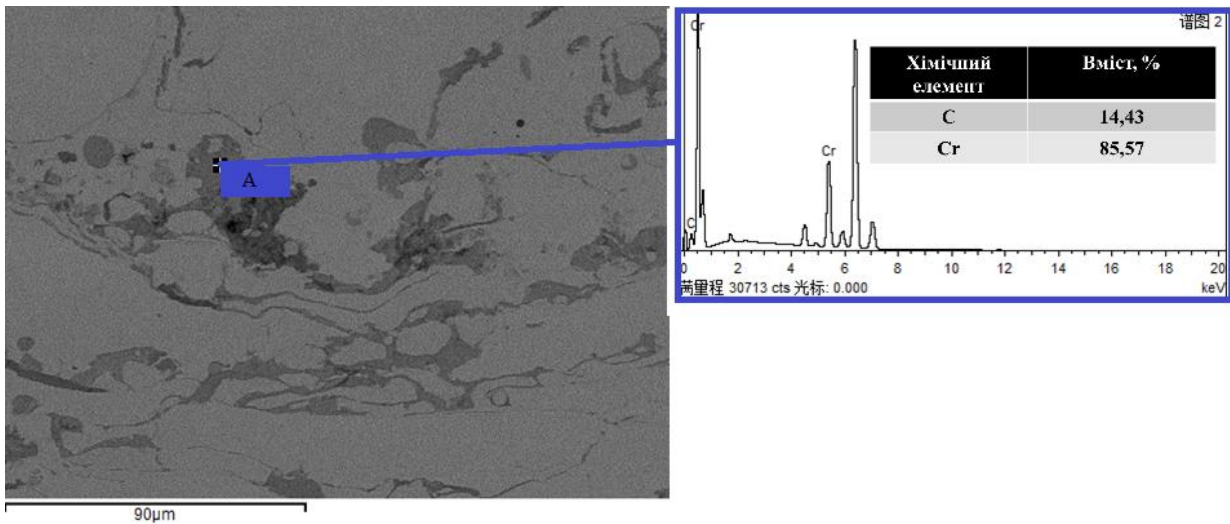


Рис. 2. Область проведення та результати рентгеноспектрального аналізу

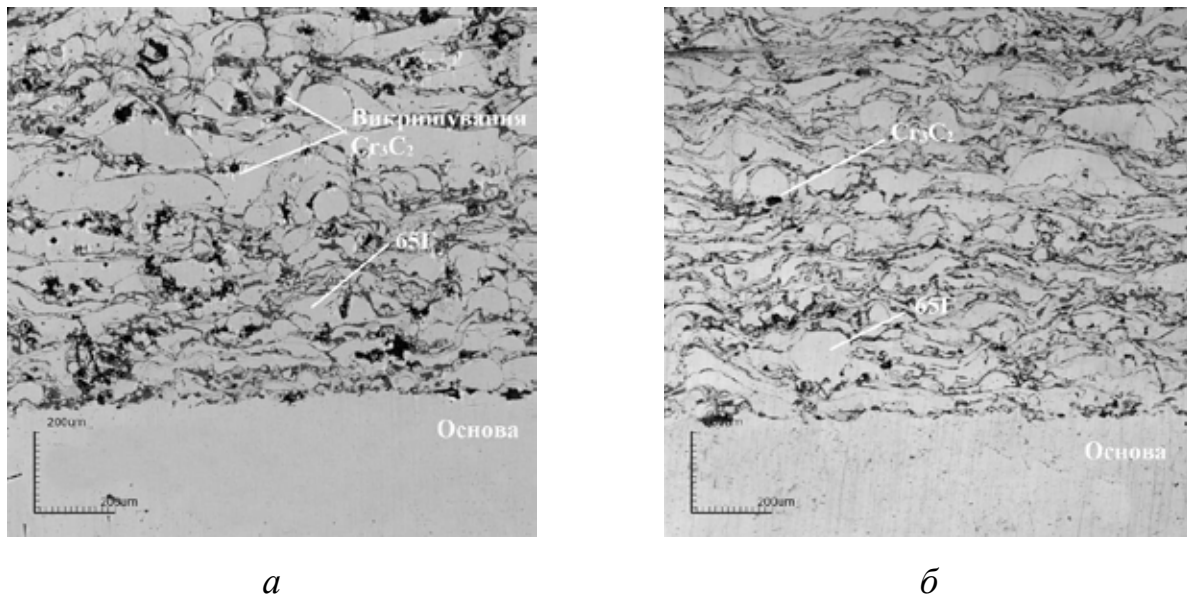


Рис. 3. Мікроструктура (оптичний мікроскоп) електродугового композиційного керметного покриття системи сталь 65Г – Cr_3C_2 , нанесеного за різними технологіями: *а* – за традиційною технологією; *б* – з використанням електроімпульсної дії

Визначення вмісту карбідної фази проводили планіметричним методом за отриманими мікроструктурами. Вибір даного методу пояснюється тим, що він у металографічній практиці достатньо ефективний при малому вмісті аналізованої фази (порядку декількох відсотків), та у таких випадках являється надійнішим за точковий або лінійний методи. В результаті розрахунків встановлено, що вміст карбиду хрому в покритті складає 15,4% (об.).

Для електроімпульсного впливу на високо-температурний двофазний потік використовували джерело високовольтних високочастотних

імпульсів, яке підключали до розпилювача за прямою схемою. Напилення здійснювалося на попередньо встановленому оптимальному режимі роботи джерела імпульсів при електродуговому напиленні: частота 6,5 кГц; напруга 5 кВ [16]. На рис. 3 наведено знімки мікроструктур покриттів, нанесених за традиційною технологією та з використанням електроімпульсної дії, які отримано на оптичному мікроскопі.

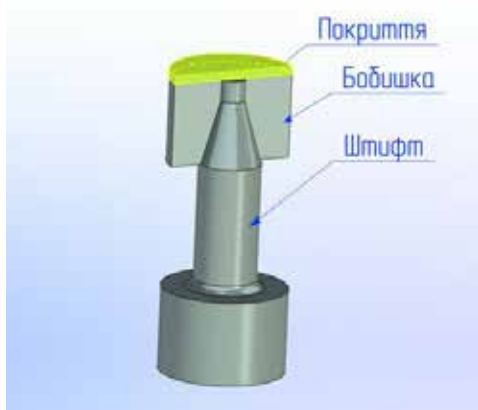
Порівняльний аналіз знімків показує, що електроімпульсна дія на оптимальних амплітудно-частотних параметрах забезпечує зменшення пористості електродугового композиційного

керметного покриття системи сталь 65Г – Cr_3C_2 з 11,5% до 7,7%. При цьому відсутнє викришування часток карбиду з металевої матриці під час шліфування та полірування мікрошліфів, що дає підстави стверджувати про підвищення когезійної міцності між ними, спостерігається більш рівномірний їх розподіл по перерізу покриття. Також відбувається зменшення структурних складових покриття та збільшується величина деформації напилюваних часток (зменшується висота ламелей) з 80 % до 85 % за рахунок підвищення їх швидкості. Згідно з результатами визначення мікротвердості металевої матриці встановлено, що використання електроімпульсної дії приводить до підвищення вказаної характеристики з 2,7 ГПа до 3,25 ГПа (+20%).

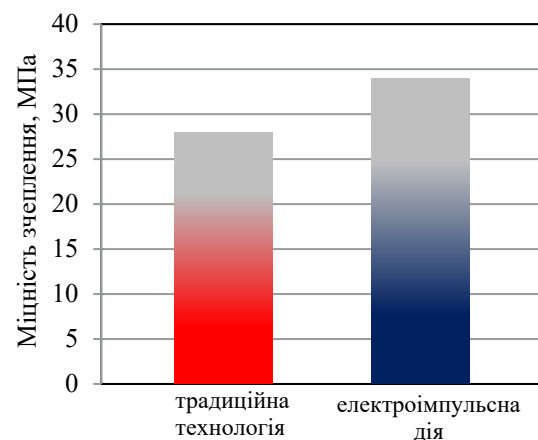
Одним з основних способів визначення міцності зчеплення покриття з основним металом вважається штифтовий метод, який дозволяє оперативно проводити випробування безпосередньо після нанесення покриття на зразки, тому його й використовували у даній роботі. Зразок для визначення міцності зчеплення покриття з основою складається з бобишки, в отвір якої встановлюється штифт таким чином, що його торцева поверхня знаходиться в одній площині з площиною основи – бобишки (рис. 4 а). На загальну поверхню торця штифта і бобишки після відповідної підготовки наноситься покриття. Випробування проводять шляхом витягування конусного штифта з бобишки із записом зміни зусилля, після відриву штифта від покриття визначають відношення максимального навантаження до площі торця штифта. Це відношення є кількіс-

ною характеристикою з'єднання покриття з основою. Для розтягування зразків використовували розривну машину УММ-5. Зразки для визначення міцності зчеплення виготовляли з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45. Перед нанесенням покриттів поверхню, яка підлягала напиленню, обезжирювали технічним етанолом та піддавали струменево-абразивній обробці на наступному технологічному режимі: тиск стисненого повітря 0,6 МПа; відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні 100 мм; діаметр сопла 12 мм; кут падіння струменя на оброблювану поверхню 80 град; лінійна швидкість переміщення пістолета 200 мм/хв. Товщина нанесених покриттів складала 0,5...0,6 мм. Для отримання результатів міцності зчеплення покриттів з основою напилення на одному режимі виконували в один прохід на 5 зразків. Результати визначення міцності зчеплення з металевою основою напилених покриттів за традиційної технологією та з використанням електроімпульсної дії зі зазначених матеріалів наведено на рис. 4 б.

Аналіз наведених результатів показує, що використання електроімпульсної дії забезпечує підвищення даної характеристики для композиційного електродугового керметного покриття системи 65Г- Cr_3C_2 з 28 МПа до 34 МПа (+21,5%). Пояснюється даний ефект підвищенням швидкості напилюваних частинок та, як наслідок, збільшенням площі фактичного контакту напилюваних частинок з основою та кількості місць зчеплення, що забезпечує зменшення результуючого навантаження на одиницю площі нанесеного покриття.



а



б

Рис. 4. Загальний вигляд зразків (а) та результати визначення міцності зчеплення керметних покриттів з основою (б)

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Проаналізовано основні методи та напилювані матеріали, що застосовуються для формування керметних газотермічних покриттів. Зроблено висновок щодо перспективи використання електродугового напилення та порошку карбіду у вільному вигляді для нанесення керметних композиційних покриттів. За допомогою модернізованого електродугового розпилювача отримано зразки керметного композиційного покриття системи сталь 65Г – Cr₃C₂. Аналіз знімків мікроструктури покриттів, отриманих за допомогою електронного мікроскопу, показав, що покриття має пористість близько 11,5%, добре диференціюються частинки карбіду хрому темного кольору, границя поділу «покриття-основа» не містить відшарувань, однак спостерігаються місця викришування зміцнювальної фази. Проведено ідентифікацію фаз шляхом визначення їх хімічного складу за допомогою рентгеноспектрального аналізу. Планіметричним методом встановлено вміст карбідної фази у покритті - 15,4% об. Для підвищення фізико-механічних властивостей покриттів запропоновано використання електроімпульсної дії на оптимальних амплітудно-частотних параметрах (амплітуда 5 кВ, частота – 6,5 кГц). Встановлено, що електроімпульсна дія на оптимальних амплітудно-частотних параметрах забезпечує: зменшення пористості покриття з 11,5% до 7,7%; підвищення мікротвердості металевої складової з 2,7 ГПа до 3,25 ГПа (+20%); приводить до меншого викришування частинок карбіду хрому в процесі виготовлення мікрошліфів. Штифтовим методом визначено міцність зчеплення зі сталеву основою вказаних покриттів та показано, що використання електроімпульсної дії забезпечує підвищення даної характеристики для композиційного електродугового керметного покриття системи 65Г – Cr₃C₂ з 28 МПа до 34 МПа (+21,5%). Подальші перспективи досліджень полягають у встановленні нових закономірностей і оптимізації процесу нанесення зазначених електродугових покриттів, а також у визначенні їх експлуатаційних властивостей, зокрема, зносостійкості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. D. Toma, W. Brandtt, G. Marginean “Wear and corrosion of thermo alloy sprayed cermet coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol.138, pp.149-158, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)01141-5](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(00)01141-5)
2. N. Espallargas, J. Berget, J.M. Guilemany, A.V. Benedetti, P.H. Suegama “Cr₃C₂-NiCr and WC-Ni

spray coatings as alternatives to hard chromium for erosion-corrosion resistance”, *Surface and Coating Technology*, vol. 202, pp.1405-1417, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.06.048>.

3. L. Fedrizzi, S. Rossi, R. Cristel, P.L. Bonora “Corrosion and wear behavior of HVOF cermet coatings used to replace hard chromium”, *Electrochimica Acta*, vol. 49, pp. 2803-2814, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2004.01.043>.

4. J.M. Guilemany, N. Espallargas, P.H. Suegama, A.V. Benedetti “Comparative study of Cr₃C₂-NiCr coatings obtained by HVOF and hard chromium coatings”, *Corrosion Science*, vol. 48, pp. 2998-3013, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.10.016>.

5. A. Sai Jagadeeswar, S. Kumar, B. Venkataraman, P. Suresh Babu, A. Jyothirmayi “Effect of thermal energy on the deposition behavior, wear and corrosion resistance of cold sprayed Ni-WC cermet coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 399, 126138, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126138>.

6. V.N. Shukla, H. Trivedi, H. Kumar, A. Yadav “Surface Engineering Analysis of D-Gun Sprayed Cermet Coating in Aggressive Environment”, *Material Today: Proceedings*, vol. 4, pp. 10212-10215, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.350>.

7. E. Jonda, M. Szala, M. Sroka, L. Łatka, M. Walczak “Investigations of cavitation erosion and wear resistance of cermet coatings manufactured by HVOF spraying”, *Applied Surface Science*, vol. 608, 155071, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.155071>.

8. Q. Liu, Y. Wang, Y. Bai, Z. Li, G. Tan, M. Bao, X. Li, H. Zhan, Y. Sun, N. Chong, R. Wang, Y.S. Ma “Formation mechanism of gas phase in supersonic atmospheric plasma sprayed NiCr-Cr₃C₂ cermet coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 397, 126052, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126052>.

9. K. Vasileios, S. Kamnis, B. Allcock, S. Gu “Effects and Interplays of Spray Angle and Stand-off Distance on the Sliding Wear Behavior of HVOF WC-17Co Coatings”, *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 28, pp. 517-534, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11666-019-00831-x>.

10. C. Lima, R. Libardi, R. Camargo “Assessment of abrasive wear of nanostructured WC-Co and Fe-based coatings applied by HP-HVOF, flame, and wire arc spray”, *Journal of thermal spray technology*, vol.23, pp. 1097-1104, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11666-014-0101-6>.

11. B. Wielage, H. Pokhmurska, M. Student “Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 220, pp. 27-35, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.12.013>.

12. P. Sheppard, H. Koiprasert “Effect of W dissolution in NiCrBSi-WC and NiBSi-WC arc sprayed coatings on wear behaviors”, *Surface and*

Coatings Technology, vol. 317, pp. 194-200, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.06.008>.

13. A. Karpechenko, M. Bobrov, Yu. Halynkin, Al. Labartkava, An Labartkava “Microstructure and Thermal Conductivity Analysis of Metal-Polymer Composite Coatings Deposited by Electric Arc Spraying”, *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, vol. 16, pp. 38-43, 2022.

14. O. Dubovoy, A. Karpechenko, M. Bobrov, et al. “Electric arc spraying of cermet coatings of steel 65G-TiC system”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol.2, pp. 63–68, 2021. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/063>.

15. O. Dubovyi, O. Chechel, M. Bobrov, Yu. Nedel’ko “Perspectives of improving physical and mechanical properties of thermal coatings by electropulse exposure”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol.1, pp. 82-87, 2017.

16. О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров, А.О. Мазуренко, «Пристрій для електродугового напилення композиційних покриттів», *Патент України, МПК C23C 26/02, B05B 7/22*, № 111760, 10.06.2016.

REFERENCES:

1. D. Toma, W. Brandtt, G. Marginean “Wear and corrosion of thermo alloy sprayed cermet coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol.138, pp.149-158, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)01141-5](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(00)01141-5)

2. N. Espallargas, J. Berget, J.M. Guilemany, A.V. Benedetti, P.H. Suegama “Cr₃C₂-NiCr and WC-Ni spray coatings as alternatives to hard chromium for erosion-corrosion resistance”, *Surface and Coating Technology*, vol. 202, pp.1405-1417, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.06.048>.

3. L. Fedrizzi, S. Rossi, R. Cristel, P.L. Bonora “Corrosion and wear behavior of HVOF cermet coatings used to replace hard chromium”, *Electrochimica Acta*, vol. 49, pp. 2803-2814, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2004.01.043>.

4. J.M. Guilemany, N. Espallargas, P.H. Suegama, A.V. Benedetti “Comparative study of Cr₃C₂-NiCr coatings obtained by HVOF and hard chromium coatings”, *Corrosion Science*, vol. 48, pp. 2998-3013, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.10.016>.

5. A. Sai Jagadeeswar, S. Kumar, B. Venkataraman, P. Suresh Babu, A. Jyothirmayi “Effect of thermal energy on the deposition behavior, wear and corrosion resistance of cold sprayed Ni-WC cermet coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 399, 126138, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126138>.

6. V.N. Shukla, H. Trivedi, H. Kumar, A. Yadav “Surface Engineering Analysis of D-Gun Sprayed Cermet Coating in Aggressive Environment”, *Material Today: Proceedings*, vol. 4, pp. 10212-10215, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.350>.

7. E. Jonda, M. Szala, M. Sroka, L. Łatka, M. Walczak “Investigations of cavitation erosion and wear resistance of cermet coatings manufactured by HVOF spraying”, *Applied Surface Science*, vol. 608, 155071, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.155071>.

8. Q. Liu, Y. Wang, Y. Bai, Z. Li, G. Tan, M. Bao, X. Li, H. Zhan, Y. Sun, N. Chong, R. Wang, Y.S. Ma “Formation mechanism of gas phase in supersonic atmospheric plasma sprayed NiCr-Cr₃C₂ cermet coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 397, 126052, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126052>.

9. K. Vasileios, S. Kamnis, B. Allcock, S. Gu “Effects and Interplays of Spray Angle and Stand-off Distance on the Sliding Wear Behavior of HVOF WC-17Co Coatings”, *Journal of Thermal Spray Technology*, vol. 28, pp. 517-534, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11666-019-00831-x>.

10. C. Lima, R. Libardi, R. Camargo “Assessment of abrasive wear of nanostructured WC-Co and Fe-based coatings applied by HP-HVOF, flame, and wire arc spray”, *Journal of thermal spray technology*, vol.23, pp. 1097-1104, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11666-014-0101-6>.

11. B. Wielage, H. Pokhmurska, M, Student “Iron-based coatings arc-sprayed with cored wires for applications at elevated temperatures”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 220, pp. 27-35, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.12.013>.

12. P. Sheppard, H. Koiprasert “Effect of W dissolution in NiCrBSi-WC and NiBSi-WC arc sprayed coatings on wear behaviors”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 317, pp. 194-200, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2014.06.008>.

13. A. Karpechenko, M. Bobrov, Yu. Halynkin, Al. Labartkava, An Labartkava “Microstructure and Thermal Conductivity Analysis of Metal-Polymer Composite Coatings Deposited by Electric Arc Spraying”, *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, vol. 16, pp. 38-43, 2022.

14. O. Dubovoy, A. Karpechenko, M. Bobrov, et al. “Electric arc spraying of cermet coatings of steel 65G-TiC system”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol.2, pp. 63–68, 2021. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-2/063>.

15. O. Dubovyi, O. Chechel, M. Bobrov, Yu. Nedel’ko “Perspectives of improving physical and mechanical properties of thermal coatings by electropulse exposure”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol.1, pp. 82-87, 2017.

16. О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров, А.О. Мазуренко, «Пристрій для електродугового напилення композиційних покриттів», *Патент України, МПК C23C 26/02, B05B 7/22*, № 111760, 10.06.2016.

Стаття надійшла до редакції 22 травня 2023 року

УДК 638.166:543.4

Мельник О. П.,

ksaname@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9177-8904,

Researcher ID: D-8608-2019,

к.х.н., доцент, доцент кафедри експертизи харчових продуктів,

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Маринін А. І.,

andrii_marynin@ukr.net. ORCID ID: 0000-0001-6692-7472

Researcher ID: M-5292-2018,

к.т.н., с.н.с., доцент, завідувач Проблемної науково-дослідної лабораторії,

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Шевченко О. Ю.,

tmipt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8818-2667

Researcher ID: GVV-7406-2022,

д.т.н., професор, ректор

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Літвинчук С. І.,

litvynchuk@nufi.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5580-3826

Researcher ID: T-2607-2018

к.т.н., доцент, завідувач кафедри фізики,

Національний університет харчових технологій, м. Київ

Святненко Р. С.,

svyatnenko77@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-0895-6982

Researcher ID: HPE-0052-2023,

к.т.н., старший науковий співробітник,

Проблемна науково-дослідна лабораторія, м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЯМР-СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ФАЛЬСИФІКАЦІЇ МЕДУ

Анотація. У статті розглядаються питання ідентифікації та фальсифікації меду методом ЯМР-спектроскопії. Мед – натуральна солодка речовина, що виробляється *Apis mellifera*. Він складається в основному з різних цукрів, переважно фруктози та глюкози, а також інших речовин, таких як органічні кислоти, ферменти та тверді частинки, отримані під час медозбору. Основною хімічною складовою меду є вуглеводи, які складають до 95% сухої ваги, причому фруктоза (38%) і менша частина глюкози (31%) є основними цукровими компонентами серед 22 різних цукрів, присутніх у складі меду.

Географічне та ботанічне походження є факторами, які диктують ціну на цей широко споживаний натуральний продукт. Економічна вигода призвела до того, що мед став легкою мішенню для фальсифікації, включаючи навмисне неправильне маркування походження меду, додавання води та цукру до меду, а також годування бджіл надмірною кількістю штучного сиропу в період збору нектару. Таким чином, ідентифікація меду є нагальною проблемою.

Методології ядерного магнітного резонансу (ЯМР) широко визнані як важливий інструмент для аналізу харчових продуктів, оскільки вони дозволяють вивчати як хімічний склад, так і молекулярну динаміку харчових матриць.

Мед є дуже лабільною системою, що піддається біохімічним і хімічним змінам, а ЯМР-спектроскопія є потужним методом для моніторингу цих змін.

ЯМР-спектроскопія має низку переваг порівняно з іншими аналітичними методами: вона швидка (для отримання спектру ЯМР ^1H потрібно <5 хв); не потребує калібрування за допомогою міжнародних стандартів або екстракції компонентів перед проведенням аналізу; демонструє чудову селективність і дозволяє ідентифікувати невідомі сполуки на молекулярному рівні. Однією з головних переваг цього методу є його здатність надавати структурну і кількісну інформацію про широкий спектр хімічних видів в одному ЯМР-експерименті з відмінною повторюваністю і відтворюваністю.

Ключові слова: мед, ідентифікація, фальсифікація, ЯМР-спектроскопія.

Melnyk O. P.,

ksaname@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9177-8904

Researcher ID: D-8608-2019,

*Ph.D., As. Professor, Associate Professor of the Department of Foodstuff Expertise,
National University of Food Technologies, Kyiv*

Marynin A. I.,

andrii_marynin@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6692-7472

ResearcherID: M-5292-2018,

*Ph.D., Associate Professor, Head of Laboratory
National University of Food Technologies, Kyiv*

Shevchenko O. Yu.,

tmipt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8818-2667

Researcher ID: GVV-7406-2022,

*Doctor of Engineering, Professor, Rector
National University of Food Technologies, Kyiv*

Litynychuk S. I.,

litvynchuk@nuft.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5580-3826

Researcher ID: T-2607-2018

*Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Physics
National University of Food Technologies, Kyiv*

Svyatnenko R. S.,

svyatnenko77@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-0895-6982

Researcher ID: HPE-0052-2023,

*Ph.D., Researcher, Problem Research Laboratory
National University of Food Technologies, Kyiv*

USING THE NMR SPECTROSCOPY METHOD TO STUDY THE IDENTIFICATION AND ADULTERATION OF HONEY

Abstract. *The article deals with the issues of identification and falsification of honey by NMR spectroscopy. Honey is a natural sweet substance produced by *Apis mellifera*. It consists mainly of various sugars, mainly fructose and glucose, as well as other substances such as organic acids, enzymes and particulate matter obtained during honey harvesting. The main chemical constituent of honey is carbohydrates, which make up up to 95% of the dry weight, with fructose (38%) and a smaller portion of glucose (31%) being the main sugar components among the 22 different sugars present in honey.*

Geographical and botanical origin are factors that dictate the price of this widely consumed natural product. The economic benefits have made honey an easy target for adulteration, including deliberate mislabeling of honey origin, adding water and sugar to honey, and feeding bees excessive amounts of artificial syrup during the nectar collection period. Thus, honey identification is an urgent problem.

Nuclear magnetic resonance (NMR) techniques are widely recognized as an important tool for food analysis, as they allow us to study both the chemical composition and molecular dynamics of food matrices.

Honey is a highly labile system that undergoes biochemical and chemical changes, and NMR spectroscopy is a powerful technique for monitoring these changes.

NMR spectroscopy has a number of advantages over other analytical methods: it is fast (<5 min to obtain a ¹H NMR spectrum); does not require calibration with international standards or extraction of components before analysis; demonstrates excellent selectivity and allows identification of unknown compounds at the molecular level. One of the main advantages of this method is its ability to provide structural and quantitative information on a wide range of chemical species in a single NMR experiment with excellent repeatability and reproducibility.

Key words: honey, identification, adulteration, NMR spectroscopy.

JEL Classification: C 89, L 15

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-03

Постановка проблеми. Мед – це природна солодка речовина, що виробляється медоносними бджолами і складається з декількох видів цукрів, органічних кислот, амінокислот, ферментів і мінералів.

Загалом, якість меду та його хімічний склад пов'язані з багатьма факторами, такими як географічне, ботанічне або рослинне походження, кліматичні, сезонні та ботанічні фактори, фактори навколишнього середовища, методи збору меду бджолярами, правильне маркування меду, умови зберігання [1-6]. З точки зору забезпечення якості, ці фактори є важливими для виробників меду, споживачів, харчової промисловості та регуляторних органів.

Зростання комерційного попиту на мед у всьому світі призвело до зростання цін на медові продукти, що спричинило шахрайську фальсифікацію натурального меду [7-9]. Тому бджільництво та промислове виробництво меду потребують більш суворих заходів контролю якості для того, щоб забезпечити споживачів якісною та безпечною продукцією.

Існує значна кількість аналітичних хімічних інструментів для перевірки автентичності меду [8, 10, 11]. Застосування ЯМР-спектроскопії для аналізу меду має ряд переваг, включаючи доступність інформації про цей продукт в одному вимірюванні, що є відносно швидшим за більшість аналітичних методів з точки зору часу виконання та обробки, відтворюваність та порівнянність даних з високим рівнем статистичної достовірності, відсутність необхідності попередньої обробки зразків, ретроспективна ідентифікація та кількісне визначення зразків [3, 11-15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хімічний склад меду змінюється залежно від його географічного походження, тому на сьогоднішній день дослідження в основному зосереджені на вивченні природних фізико-хімічних

параметрів для встановлення джерела квіткового меду та його походження [1, 16, 17]. Часто використовуваним методом перевірки автентичності меду є мелісопалінологія [18, 19]. З іншого боку, дослідження також показали, що мед різного географічного походження можна класифікувати на основі відмінностей у співвідношенні амінокислот [9, 20, 21]. Проблема полягає в тому, що необхідно враховувати реакцію Майяра, оскільки зміни амінокислотного складу меду відбуваються під час зберігання [2, 22, 23], що робить такий параметр не ідеальним для ідентифікації. Автори [24, 25] досліджували вторинні метаболіти, як от фенольні сполуки, які можуть слугувати можливими маркерами географічної ідентифікації меду.

Авторами [26] використано ¹H та ¹³C ЯМР-спектроскопію для вирішення проблем, пов'язаних з визначенням ботанічного та географічного походження 328 зразків меду та кількісного визначення окремих компонентів меду.

В роботі [27] з метою ідентифікації та класифікації зразків меду на основі схожості або відмінності їх хімічного складу ¹H ЯМР-спектри сигналів між значеннями хімічних зсувів (δ) 10.5...0 ppm були розділені на різні області: 9.60...7.20; 5.30...3.20; 3.0...1.50; 1.50...0.75, зона 4.70...5.00 ppm була виключена для того, щоб позбутися піку залишкової води. ¹H ЯМР профілювання різних областей хімічних зсувів чітко показало, що кожен мед має діагностичний відбиток зі специфічними хімічними маркерами, які можуть бути використані для ідентифікації, виявлення фальсифікації та, зрештою, для контролю якості.

У дослідженні [7] було використано ¹H ЯМР-спектроскопію низьких частот для розрізнення чистого квітового меду від меду, фальсифікованого кукурудзяним сиропом з високим вмістом фруктози. Встановлено, що на час релаксації протонів суттєво впливає концентрація фальсифікату в чистому меді, зменшуючись при вищих

концентраціях фруктозного сиропу. Виявлено значні кореляції між часом релаксації та фізико-хімічними параметрами меду (рН, активністю води та вмістом вологи).

У статті [28] авторами розділено ^1H спектри меду на три області: аліфатичну (0.00...3.00 ppm), вуглеводну (3.00...6.00 ppm) та ароматичну (6.00...9.50 ppm), щоб дослідити, яка область забезпечує найкращі якісні та кількісні показники з точки зору фальсифікації ріпакового меду в акацієвому меді. На основі сполук, розташованих у спектральному діапазоні 0.00...6.00 ppm встановлено найвищу точність прогнозування додавання ріпакового меду, що становить 89,7%.

В роботі [29, 30] визначено аналітичні критерії для перевірки автентичності моно- та мультіквіткового меду мануки. Мед, який походить з дерев манука, має дуже специфічну антимікробну активність, відрізняється від інших квіткових видів наявністю великої кількості метилгліюксалу, який є молекулою, що відповідає за сильну антисептичну властивість цього меду, і його попередника в нектарі, дигідроксиацетону. Метилгліюксаль може бути ефективно кількісно визначений за допомогою ^1H -ЯМР. Ці два маркери є хорошими критеріями ЯМР-автентичності, щоб переконатися, що мед манука відповідає маркуванню.

Авторами [17] досліджено сортові меди (грецький, конюшиний, кульбабовий, вересовий, гімалайський бальзамічний, падевий, липовий, брусничний, багатоквітковий). За допомогою ЯМР-профілювання виявило 2-гідрокси-3-метилмасляну, 2-гідрокси-3-метилпентанову, 3-метил-2-оксопентанову та 4-метил-2-оксопентанову кислоти як специфічні маркери для меду кульбаби.

У грецького меду виявлено високий вміст амінокислот ізoleyцину, лейцину, треоніну, тирозину, валіну та 4-гідроксибензойну кислоти. Фенілаланін і тирозин також вважаються маркерами лавандового меду.

Окрім мелезитози та трегалози, було знайдено відмінні маркери падевого меду з аліфатичної та ароматичної областей. Падевий мед характеризується наявністю фумарової, молочної, яблучної та бурштинової кислот, а також присутності аспарагінової кислоти на рівнях, які можна виявити. Конюшиний мед не містить жодних явних характерних маркерів, але вирізняється низьким вмістом глюкози. Виявлено маркер липового меду – 1-О- β -гентіобіозил (6-О-(β -D-глюкопіранозил)- β -D-глюкопіранозил) ефір

4-(1-гідрокси-1-метилетил)циклогекса-1,3-діен-1-карбонової кислоти, гентіобіоза також присутня в липовому меді.

Вересовий мед містить ароматичні карбонові кислоти, а саме бензойну, 3-фенілоцтову та фенілоцтову кислоти, які сприяють формуванню ароматичного профілю та медоподібного запаху. 3-феніломолочна кислота може бути причиною високої антимікробної активності вересового меду.

У роботі [31] продемонстровано комбіноване застосування ЯМР-спектроскопії та керованих моделей машинного навчання для автоматичної ідентифікації різних фальсифікатів у зразках меду. Використовуючи 90% навчальних і 10% тестових даних, експериментальні спектри зразків меду піддаються трьом типам алгоритмів класифікації: класифікатору логістичної регресії, класифікатору глибоких нейронних мереж і класифікатору з підсиленням легкого градієнта. Щоб зменшити похибку, пов'язану з розділенням навчальних і тестових наборів даних, вся перехресна перевірка і прогнози на трьох класифікаторах повторюються 50 разів. Нарешті, обчислюється середня оцінка перехресної перевірки і точності, що дає значення, близькі до 1,0 і 100%, відповідно. Контрольоване машинне навчання та інструменти глибокого навчання виявляють різні види фальсифікації, такі як фальсифікація інвертним цукром та додавання суміші цукрових сиропів до меду.

У роботі [32] досліджено рухливість молекул води в меді на молекулярному рівні за допомогою релаксометрії ядерного магнітного резонансу. Встановлено, що в меді є дві фракції молекул води: зв'язана вода та вільна (об'ємна) вода. Коефіцієнт дифузії фракції зв'язаної води приблизно в 1000 разів нижчий порівняно з об'ємною водою. Однак, незважаючи на те, що процес дифузії значно сповільнюється, він залишається тривимірним (ізотропним).

В останні роки застосування ЯМР-спектроскопії зробило дуже значний внесок у науку метаболоміки [33]. Використання метаболомічного аналізу для вирішення складних питань, пов'язаних з фальсифікацією та ідентифікацією меду, включаючи географічне походження, зрілість, значно зросло протягом останніх десятиліть.

Авторами [34] проведена верифікація географічного походження 118 зразків меду з французького острова Корсика за допомогою статистичної моделі ЯМР ^1H . Ця модель, побудована

з використанням комбінації PLS-DA (Partial Least Squares Discriminant Analysis – частковий дискримінантний аналіз методом найменших квадратів) і генетичного алгоритму, змогла правильно ідентифікувати зразки меду як такі, що походять з Корсики (загалом, правильна класифікація за допомогою перехресної валідації моделі склала 96,2%). Подальше дослідження, що об'єднало дані експериментів другого року дослідження, вивчило змінні, використані в новому алгоритмі класифікації, і визначило кілька біомаркерів, які були присутні в певних квіткових типах меду, наприклад, кінуренова кислота була визначена генетичним алгоритмом як непрямий маркер географічного походження [35].

Постановка завдання. Метою статті є аналіз використання методу ЯМР-спектроскопії при дослідженні ідентифікації та фальсифікації меду різного географічного та ботанічного походження.

В роботі використано методи аналізу, синтезу та узагальнення інформації з різних наукових джерел для формування цілісного уявлення використання методу ЯМР-спектроскопії для дослідження меду. Методи аналізу та синтезу взаємопов'язані. При підготовці статті після виконання аналітичної роботи, виникла потреба у синтезі, інтеграції результатів аналізу. Інформаційною базою дослідження були роботи вітчизняних та закордонних вчених.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основі методу спектроскопії ядерного магнітного резонансу лежить явище поглинання радіочастотної енергії системою магнітних ядер [36-38]. Протони і нейтрони із яких складаються ядра атомів, володіють спіном. У зовнішньому магнітному полі B_0 ядра зі спіном I , відмінним від нуля, орієнтуються дискретним способом так, що проекція спіну на напрямок поля (m) приймає $2I+1$ значень ($m = I, I-1, -I$). Це призводить до розщеплення енергетичного рівня спіна I на $2I+1$ підрівнів. Різниця енергій між підрівнями визначається співвідношенням

$$E_m = -\hbar m \gamma B_0, \quad (1)$$

де $\hbar = h/2\pi$ – приведена стала Планка, γ – гіромагнітне відношення.

В методі ЯМР накладенням додаткового високочастотного поля B_1 з коловою частотою ω досліджують переходи між даними підрівнями. При цьому резонансне поглинання енергії відбувається за умови:

$$\omega_0 = \gamma B_0, \quad (2)$$

Формула (2) описує загальну умову ЯМР. Однак локальне магнітне поле в точці розміщення ядра зі спіном I відрізняється від поля B_0 , що створюється магнітом ЯМР-спектрометра. Це пов'язано з магнітним екрануванням ядра електронної оболонки атома і локальними магнітними полями, які утворюють як функціональні групи досліджуваної молекули, так і поруч розташовані молекули середовища. Відмінність магнітного поля в точці розміщення ядра від поля ЯМР-спектрометра називається сталою магнітного екранування.

Щоб охарактеризувати величину магнітного екранування конкретного ядра, використовують величину хімічного зсуву, яким називають різницю між сталою екранування еталонної (σ_1) і досліджуваної (σ) речовини. Хімічний зсув вимірюють в мільйонних долях (м.д. або ppm) величини магнітного поля ЯМР – спектрометра:

$$\delta = (\sigma_1 - \sigma) \text{ [м.д.]} \quad (3)$$

Стала магнітного екранування визначається двома вкладками – діаманітним і парамагнітним: $\sigma = \sigma_d + \sigma_p$. Для ізольованого атома в 1s-стані парамагнітний вклад дорівнює нулю, а діаманітний визначається співвідношенням:

$$\sigma = \frac{\mu_0 e^2}{4\pi 3 m_e c^2} \int r^{-1} \rho(r) d^3 r, \quad (4)$$

де μ_0 – магнітна стала, m_e – маса електрона, e – заряд електрона, $\rho(r)$ – густина електронів на відстані r від ядра, c – швидкість світла.

Для розрахунку хімічного зсуву протонного резонансу в якості еталонної речовини використовують тетраметилсилан (ТМС), хімічний зсув якого умовно дорівнює 0 м.д.

sp^3 -гібридація орбіталей вуглецевого атома і відсутність в молекулі ТМС електронодонорних груп обумовлює низький заряд на атомах водню. Тому для більшості органічних сполук, атоми водню яких мають більш позитивні заряди, ніж у ТМС, сигнал протонів спостерігається в більш слабких полях, ніж у випадку ТМС.

Величина хімічного зсуву залежить також від участі молекули в міжмолекулярних взаємодіях (оскільки відбувається поляризація молекул і змінюються заряди на атомах). Один із типів таких взаємодій, що сильно впливає на величину хімічного зсуву Н-атомів, – водневі зв'язки. Утворення водневих зв'язків призводить до зменшення електронної густини на атомі водню, що приймає участь у даному процесі і, як наслідок, до росту величини хімічного зсуву цього атома (тобто від-

бувається додаткове зміщення сигналу в сторону слабких магнітних полів) (рис. 1).

Якщо для ізольованої молекули величина σ практично не залежить від тиску і температури [38, 39], то для воднево-зв'язуючих комплексів така залежність існує. Це пов'язано з тим, що з підвищенням температури деяка частина водневих зв'язків розкривається і середня їх довжина збільшується, що у свою чергу, дає підвищення електронної густини на атомах водню, і сигнал протонів зміщується в сторону сильних магнітних полів. Для пояснення температурної залежності хімічного зсуву як правило використовують модель двох станів [36, 38], а тому хімічний зсув можна записати у вигляді:

$$\delta_H(T) = (1 - P_F)\delta_H + P_F\delta_F, \quad (5)$$

де P_F – доля зруйнованих водневих зв'язків, δ_H, δ_F – хімічні зсуви протонів, що приймають

і не приймають участь в утворенні водневих зв'язків.

Пряма дія магнітних полів ядер атомів одного на одне дуже мала, оскільки ці поля швидко зменшують свою напруженість з відстанню. Але електрони, які здійснюють хімічний зв'язок атомів у молекулі і які рухаються за орбітами, при орієнтації в полі одного ядра, діють і на друге. Таким чином, відбувається спин-спінова взаємодія ядер атомів, які входять до складу молекули.

Хімічні зсуви в ^{13}C -ЯМР подібні до ^1H -ЯМР, їх діапазон лежить в межах від 0 до 200 ppm і, отже, поширюється на в 20 разів більший діапазон, ніж ^1H -ЯМР (0-12 ppm) (рис. 2).

Наявність атомів карбону у ^{13}C -спектрах дає інформацію про вуглецевий скелет органічної молекули.

Стан гібридизації вуглецю має значний вплив на сигнали ЯМР ^{13}C , подібно до сигналів

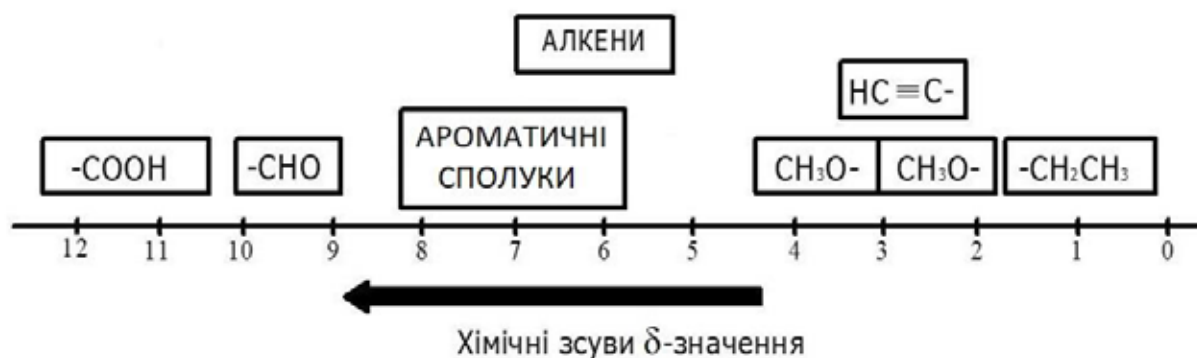


Рис. 1. ^1H -ЯМР хімічні зсуви (δ -значення) сполук з функціональними групами

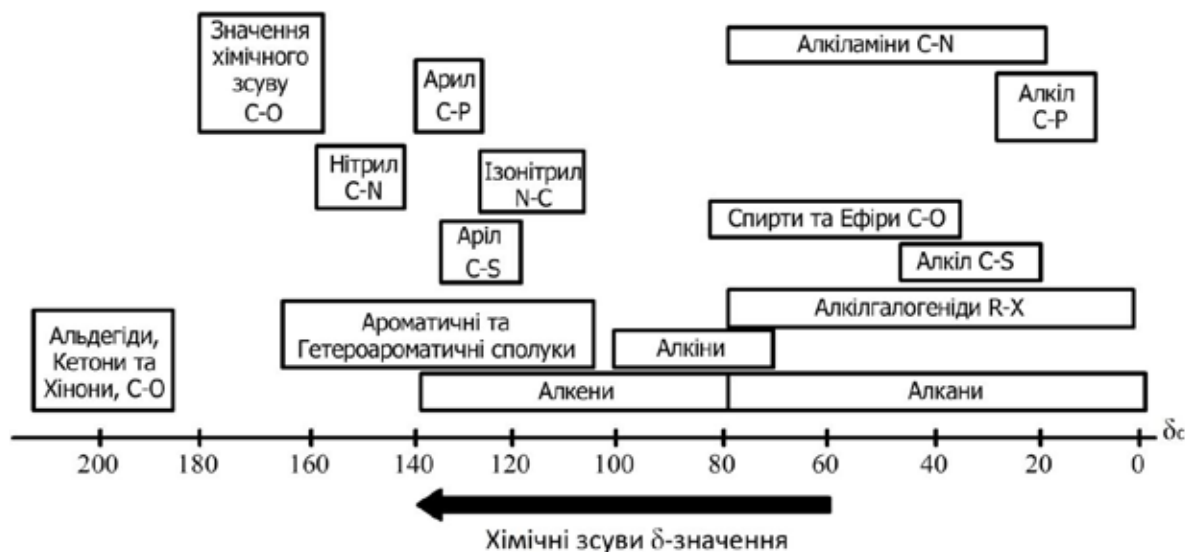


Рис. 2. ^{13}C -ЯМР хімічні зсуви сполук з функціональними групами

ЯМР ^1H , і може бути проаналізований згідно табл. 1.

Таблиця 1

Ефект гібридизації

Стан гібридизації	δ -діапазон (ppm)
sp^3 – carbon	0...60
sp^2 – carbon	80...200
sp – carbon	65...90

Релаксація спінів. Вплив радіочастотного імпульсу на зразок харчового продукту, що перебуває в стані теплової рівноваги, переводить ядерні спіни в збуджений стан. Релаксаційні процеси дозволяють ядерним спінам повернутися до рівноваги після втручання радіочастотного імпульсу. Часи релаксації T_1 і T_2 характеризують релаксацію поздовжньої і поперечної компонент намагніченості, відповідно, паралельної і перпендикулярної до B_0 . Енергія, що втрачається спінами, поширюється в середовищі, що оточує спіни, у вигляді тепла. Однак зміна температури при цьому є настільки малою, що не може бути зафіксована. Даний процес називають ще спін-решітковою релаксацією.

Для повної релаксації спінів після впливу 90° імпульсу, необхідно витримати інтервал $5T_1$ (намагніченість при цьому відновиться на 99,33%).

Якщо два однакових магнітних ядра, що входять, наприклад, у сусідні молекули чи кристалічні ґратки, знаходяться поруч, то вони перебувають у змінних магнітних полях, створюваних спіном сусіднього ядра. Якщо в цьому випадку частоти прецесії ядер і магнітних полів збігаються, тоді виконуються умови для ще одного виду резонансу, який є спін-спіновою релаксацією. Отже, спін-спінова релаксація – явище обміну енергією між двома однаковими спіновими системами, що знаходяться якийсь час поруч та характеризується константою T_2 .

Для більшості ядер зі спіном $1/2$, що містяться у молекулах, які швидко рухаються, T_1 і T_2 мають однакові величини. Для великих молекул з повільним рухом у розчинах T_2 у більшості випадків набагато менші за T_1 .

Релаксація приводить до того, що сигнали мають вигляд лінії (рис. 3), напівширина якої описується рівнянням:

$$\Delta\nu_{1/2} = \frac{1}{\eta \cdot T_2} \quad (6)$$

Принципи реєстрації сигналу ЯМР. Сучасні спектрометри ЯМР призначено для роботи на

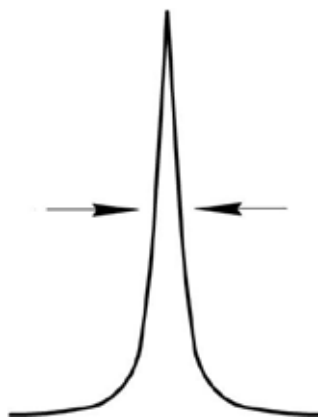


Рис. 3. Визначення ширини сигналу на половині його висоти

різних ядрах, що досягається зміною діапазону частот, які генеруються [40]. У разі імпульсного методу на речовину впливають серією коротких імпульсів тривалістю $\sim 10^{-6}$ с, що чергуються з паузами в 2 с (рис. 4).

При цьому монохроматичне випромінювання, за частотою близьке до частоти резонансу, за допомогою Фур'є перетворення перетворюється на поліхроматичне з діапазоном Δ , що перекидає частоти резонансу усіх ядер принаймні одного елемента, завдяки чому усі ці ядра збуджуються. Під час паузи система ядер повертається до рівноважного стану і відбувається випромінювання надлишку енергії (спад вільної індукції – СВІ), що й уловлюється приймальною котушкою та багаторазово записується в пам'яті комп'ютера, накопичуючись завдяки повторюваним імпульсам. Потім накопичений сигнал СВІ методом Фур'є перетворюється на звичайний сигнал (рис. 5).

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.

В роботі проаналізовано використання методу ЯМР-спектроскопії для дослідження багатьох параметрів при ідентифікації меду. ЯМР – спектроскопічний метод, який використовується для визначення молекулярної структури та фізичних властивостей речовин. Завдяки застосуванню спектроскопії з Фур'є перетворенням, появі надпровідних магнітів, прогресу зондової технології та безперервному розвитку високопродуктивних технологій, ЯМР досяг хороших результатів в оцінці та аналізі меду різного ботанічного та географічного походження.

Висока пропускна здатність ЯМР-спектроскопії дозволяє аналітику швидко вимірювати велику кількість зразків меду. Весь

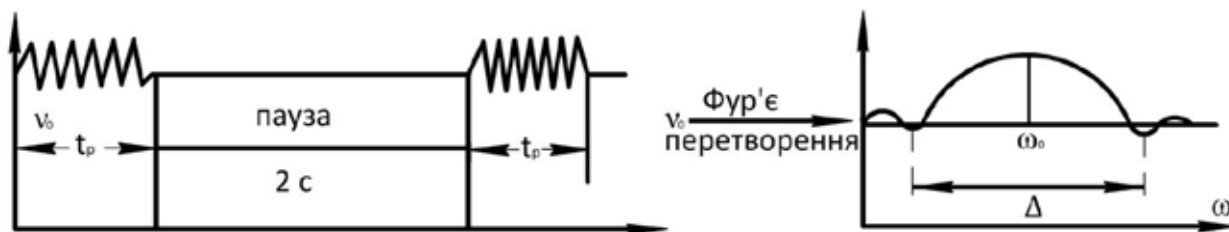


Рис. 4. Багатоімпульсна послідовність накопичення сигналу спаду вільної індукції



Рис. 5. Сигнал спаду вільної індукції та отриманий спектр ^1H ЯМР з Фур'є-перетворенням.

спектр можна виміряти з високою відтворюваністю, навіть між лабораторіями. Це можливо завдяки точним стандартним операційним процедурам підготовки зразків і новим технологічним розробкам, які мінімізують варіабельність між лабораторіями.

Потенціал ЯМР полягає не тільки у вимірюванні основних сигналів, але й у тому, щоб зробити це без впливу спектральних артефактів і невідповідностей, таких як електричний шум, різниця в ширині піків і модифікація хімічного зсуву.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Consonniand, R. Cagliani, L.R. Geographical characterization of polyfloral and acacia honeys by nuclear magnetic resonance and chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56, No 16. P. 6873–6880.
2. Missio da Silva P., Gauche C., Gonzaga L.V., Costa A.C.O., Fett R. Honey: chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 196. P. 309–323.
3. Rutledge D.N. Fast and global authenticity screening of honey using ^1H -NMR profiling. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 189. P. 60–66.
4. Zak N. Honey market in the opinion of young consumers. *Handel wewnętrzny*. 2017. Vol.1. No. 366. P. 424–438.
5. Spiteri C., Lia F., Farrugia C. Determination of the Geographical Origin of Maltese Honey Using ^1H NMR Fingerprinting. *Foods*. 2020. Vol. 9. N.10. P. 1455. <https://doi.org/10.3390/foods9101455>
6. Won S.R., Lee D.C., Ko S.H., Kim J.W., Rhee H.I. Honey major protein characterization and its application to adulteration detection. *Food Research International*. 2008. Vol. 41. No 10. P. 952–956.
7. Ribeiro R. R., Mársico E. T., Carneiro C., Guerra Monteiro M.L., Júnior C.C., Oliveira de Jesus E.F. Detection of honey adulteration of high fructose corn syrup by Low Field Nuclear Magnetic Resonance (LF ^1H NMR). *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 135. P. 39–43 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.009>
8. Zhang G., Abdulla W. On honey authentication and adulterant detection techniques. *Food Control*. 2022. 138. 108992. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108992>
9. Bogdanov S., Ruoff K., Oddo L.P. Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*. 2004. Vol. 35. P. 4–17.
10. Ruiz-Matute A.I., Brokl M., Soria A.C., Sanz M.L., Martinez-Castro I. Gas chromatographic-mass spectrometric characterisation of tri- and tetrasaccharides in honey. *Food Chemistry*. 2010. Vol. 120. No 2. P. 637–642.
11. Zabrodska B., Vorlova L. (2014). Adulteration of honey and available methods for detection – a review. *Acta Vet*. 2014. Vol. 83. P. 85–102. <https://doi.org/10.2754/avb201483S10S85>

12. Tian Y., He Q., Chen X., Wang S. Nuclear magnetic resonance spectroscopy for food quality evaluation. *Evaluation Technologies for Food Quality*. 2019. P. 193-217. doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00011-1
13. Kuballa T., Brunner T.S., Thongpanchang T., Walch S.G., Lachenmeier D.W. Application of NMR for authentication of honey, beer and spices. *Current Opinion in Food Science*. 2018. Vol. 19. P. 57-62. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.007
14. Jamroz M.K., Paradowska K., Zawada K., Makarova K., Kazmierski S., Wawer I. ¹H- and ¹³C-NMR-based sugar profiling with chemometric analysis and antioxidant activity of herb honeys and honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. Vol. 94. P. 246–255.
15. Padovan G., Jong D., Rodrigues L., Marchini J. Detection of adulteration of commercial honey samples by the ¹³C/¹²C isotopic ratio. *Food Chemistry*. 2003. Vol. 82. P. 633–636. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00504-6
16. Donarski J. A., Jones S. A., Harrison M., Driffield M., Charlton A. J. Identification of botanical biomarkers found in Corsican honey. *Food Chemistry*. 2010. Vol. 118. No. 4. P. 987–994. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.033
17. Kortseniemi M., Slupsky C. M., Ollikka T., Kauko L., Spevacek A. R., Sjovald O., Yang B., Kallio, H. NMR profiling clarifies the characterization of Finnish honeys of different botanical origins. *Food Research International*. 2016. Vol. 86. P. 83-92. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.014
18. Hornby S., Benn J., Vinkenoog R., Goldberg S., Pound M. J. Methods in melissopalynology: colour determination of pollen pellets for colour vision deficient individuals. *Palynology*. 2022. Vol. 46. P.1-7. https://doi.org/10.1080/01916122.2022.2062476
19. Aronne G., De micco V. Traditional melissopalynology integrated by multivariate analysis and sampling methods to improve botanical and geographical characterisation of honeys. *Plant Biosystems*. 2010. Vol. 144. P. 833-840. https://doi.org/10.1080/11263504.2010.514125
20. Schievano E., Peggion E., Mammi S. ¹H nuclear magnetic resonance spectra of chloroform extracts of honey for chemometric determination of its botanical origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58. No 1. P. 57–65.
21. Kazalaki A., Misiak M., Spyros A., Dais P. Identification and quantitative determination of carbohydrate molecules in Greek honey by employing ¹³C NMR spectroscopy. *Anal. Methods*. 2015. Vol. 7. P. 5962–5972.
22. Sereia M.J., Março P.H., Perdoncini M.R.G., Parpinelli R.S., de Lima E.G., Anjo F.A. Techniques for the Evaluation of Physicochemical Quality and Bioactive Compounds in Honey; Anjo, F., Ed.; IN TECH: London, UK, 2017; pp. 194–214.
23. Cagliani L.R., Maestri G., Consonni R. Detection and evaluation of saccharide adulteration in Italian honey by NMR spectroscopy. *Food Control*. 2022. 108574. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108574
24. Schievano E., Morelato E., Facchin C., Mammi S. Characterization of markers of botanical origin and other compounds extracted from unifloral honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61. No. 8. P. 1747–1755.
25. Wang X., Chen Y., Hu Y., Zhou J., Chen L., Lu X. Systematic Review of the Characteristic Markers in Honey of Various Botanical, Geographic, and Entomological Origins. *Food Sci. Technol*. 2022. Vol. 2. No. 2. P. 206–220. https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00422
26. Ohmenhaeuser M., Monakhova Y. B., Kuballa T., Lachenmeier D.W. Qualitative and Quantitative Control of Honeys Using NMR Spectroscopy and Chemometrics. *Analytical Chemistry*. 2013. Article ID 825318, http://dx.doi.org/10.1155/2013/825318
27. Olawode E.O., Tandlich R., Cambray G. ¹H-NMR Profiling and Chemometric Analysis of Selected Honeys from South Africa, Zambia, and Slovakia. *Molecules*. 2018. Vol. 23. P. 578. doi:10.3390/molecules23030578
28. Song X., She S., Xin M., Chen L., Li Y., Vander Heyden Y., Rogers K. M., Chen L. Detection of adulteration in Chinese monofloral honey using ¹H nuclear magnetic resonance and chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2020. Vol. 86, [103390]. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103390
29. Spiteri M., Jamin E., Thomas F., Rebours A., Lees M., Rogers K. Fast and global authenticity screening of honey using ¹H-NMR profiling. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 189. P. 60-66. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.099
30. Deng J., Liu R., Lu Q., Hao P., Xu A., Zhang J., Tan J. Biochemical properties, antibacterial and cellular antioxidant activities of buckwheat honey in comparison to manuka honey. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 252. P. 243–249. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.115
31. Rachineni K., Kakita V. M., Awasthi N. P., Shirke V. S., Hosur R. V., Shukla S.C. Identifying type of sugar adulterants in honey: Combined application of NMR spectroscopy and supervised machine learning classification. *Current Research in Food Science*. 2022. Vol. 5. P. 272-277. https://doi.org/10.1016/j.crf.2022.01.008
32. Kruk D., Masiewicz E., Budny J., Kolodziejski K., Zulewska J., Wieczorek Z. Relationship between macroscopic properties of honey and molecular dynamics – temperature effects. *Journal of Food Engineering*. 2022. Vol. 314. 110782 https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110782.
33. Luong D.V., Tam N.Q., Xuan D.T.T., Tai N.T. NMR based metabolomic approach for evaluation

of Vietnamese honey. *Viet. J. Chem.* 2019. Vol. 57. P. 712–716. <https://doi.org/10.1002/vjch.2019000101>

34. Donarski J.A., Jones S.A., Charlton A.J. Application of Cryoprobe ¹H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and Multivariate Analysis for the Verification of Corsican Honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 56. No.14. P. 5451-5456 doi: 10.1021/jf072402x

35. Donarski J. A., Jones S.A., Harrison M., Driffield M., Charlton A.J. Identification of botanical biomarkers found in Corsican honey. *Food Chemistry*. 2010. Vol. 118. No 4. P.987-994. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.10.033

36. Rashid M., Singh S.K., Singh C. Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy: Theory and Applications. 2021. P. 469-512. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6084-6_18

37. Keeler J. Understanding NMR Spectroscopy. Wiley Interscience, New Jersey, 2010.

38. Lambert J. B., Mazzola E.P., Clark D. Ridge Nuclear magnetic resonance spectroscopy: an introduction to principles, applications, and experimental methods. John Walley&Sons, 2019.

39. Chen D., Wang Zi, Guo Di, Orekhov V., Qu X. Review and Prospect: Deep Learning in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Chemistry. A European Journal*. 2020. Vol. 26. No 46. P. 10391-1040. <https://doi.org/10.1002/chem.202000246>

40. QU Q., JIN L. Application of nuclear magnetic resonance in food analysis *Food Sci. Technol.* 2022. Vol. 42. <https://doi.org/10.1590/fst.43622>.

REFERENCES:

1. Consonniand, R., Cagliani, L.R. (2008). Geographical characterization of polyfloral and acacia honeys by nuclear magnetic resonance and chemometrics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (16), 6873–6880.

2. Missio da Silva, P., Gauche, C., Gonzaga, L.V., Costa, A.C.O., Fett, R., (2016). Honey: chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*. 196, 309–323.

3. Rutledge, D.N., (2015). Fast and global authenticity screening of honey using ¹H-NMR profiling. *Food Chem.*, 189, 60–66.

4. Zak, N. (2017). Honey market in the opinion of young consumers. *Handel wewnętrzny*. 1(366), 424–438.

5. Spiteri, C., Lia, F., Farrugia, C. (2020). Determination of the Geographical Origin of Maltese Honey Using ¹H NMR Fingerprinting. *Foods*, 9 (10), 1455. <https://doi.org/10.3390/foods9101455>

6. Won, S.R., Lee, D.C., Ko, S.H., Kim, J.W., Rhee, H.I. (2008). Honey major protein characterization and its application to adulteration detection. *Food Research International*, 41 (10), 952–956.

7. Ribeiro, R. R., Mársico, E. T., Carneiro, C., Guerra Monteiro, M.L., Júnior, C.C., Oliveira de

Jesus, E.F. (2014). Detection of honey adulteration of high fructose corn syrup by Low Field Nuclear Magnetic Resonance (LF ¹H NMR). *Journal of Food Engineering*, 135, 39–43 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.009>

8. Zhang, G., Abdulla, W. (2022). On honey authentication and adulterant detection techniques. *Food Control*, 138. 108992. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108992>

9. Bogdanov, S.; Ruoff, K.; Oddo, L.P. (2004). Physico-chemical methods for the characterisation of unifloral honeys: A review. *Apidologie*, 35, 4–17.

10. Ruiz-Matute, A.I., Brokl, M., Soria, A. C., Sanz, M.L., Martinez-Castro, I. (2010). Gas chromatographic-mass spectrometric characterisation of tri- and tetrasaccharides in honey. *Food Chemistry*, 120 (2), 637–642.

11. Zabrodska, B., Vorlova, L. (2014). Adulteration of honey and available methods for detection – a review. *Acta Vet.* 83, 85–102. <https://doi.org/10.2754/avb201483S10S85>

12. Tian, Y., He Q., Chen, X., Wang, S. (2019). Nuclear magnetic resonance spectroscopy for food quality evaluation. *Evaluation Technologies for Food Quality*, 193-217. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00011-1>

13. Kuballa, T., Brunner, T.S., Thongpanchang, T., Walch, S.G., Lachenmeier, D.W. (2018). Application of NMR for authentication of honey, beer and spices. *Current Opinion in Food Science*, 19, 57-62. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.007>

14. Jamroz, M.K., Paradowska, K., Zawada, K., Makarova, K., Kazmierski, S., Wawer, I. (2014). ¹H- and ¹³C-NMR-based sugar profiling with chemometric analysis and antioxidant activity of herbhoneys and honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 94, 246–255.

15. Padovan, G., Jong D., Rodrigues L., Marchini J. (2003). Detection of adulteration of commercial honey samples by the ¹³C/¹²C isotopic ratio. *Food Chemistry*, 82, 633–636. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00504-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00504-6)

16. Donarski, J. A., Jones, S. A., Harrison, M., Driffield, M., Charlton, A. J. (2010a). Identification of botanical biomarkers found in Corsican honey. *Food Chemistry*, 118(4), 987–994. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.03>

17. Kortensniemi, M., Slupsky, C. M., Ollikka, T., Kauko, L., Spevacek, A.R., Sjoval, O., Yang, B., Kallio, H. (2016). NMR profiling clarifies the characterization of Finnish honeys of different botanical origins. *Food Research International*, 86, 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.014>

18. Hornby, S., Benn, J., Vinkenoog, R., Goldberg, S., Pound, M. J. (2022). Methods in melissopalynology: colour determination of pollen pellets for colour vision deficient individuals. *Palynology*, 46, 1-7. <https://doi.org/10.1080/01916122.2022.2062476>

19. Aronne, G., De micco, V. (2010). Traditional melissopalynology integrated by multivariate analysis and sampling methods to improve botanical and geographical characterisation of honeys. *Plant Biosystems*, 144, 833-840. <https://doi.org/10.1080/11263504.2010.514125>
20. Schievano, E., Peggion, E., Mammi, S. (2010). ¹H nuclear magnetic resonance spectra of chloroform extracts of honey for chemometric determination of its botanical origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (1), 57–65.
21. Kazalaki, A., Misiak, M., Spyros, A., Dais, P. (2015). Identification and quantitative determination of carbohydrate molecules in Greek honey by employing ¹³C NMR spectroscopy. *Anal. Methods*, 7, 5962–5972.
22. Sereia, M.J., Março, P.H., Perdoncini, M.R.G., Parpinelli, R.S., de Lima, E.G., Anjo, F.A. Techniques for the Evaluation of Physicochemical Quality and Bioactive Compounds in Honey; Anjo, F., Ed.; IN TECH: London, UK, 2017; pp. 194–214.
23. Cagliani, L.R., Maestri, G., Consonni, R. (2022). Detection and evaluation of saccharide adulteration in Italian honey by NMR spectroscopy. *Food Control*, 108574. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108574>
24. Schievano, E., Morelato, E., Facchin, C., Mammi, S. (2013). Characterization of markers of botanical origin and other compounds extracted from unifloral honeys. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(8), 1747–1755.
25. Wang, X., Chen, Y., Hu, Y., Zhou, J., Chen, L., Lu, X. (2022). Systematic Review of the Characteristic Markers in Honey of Various Botanical, Geographic, and Entomological Origins. *Food Sci. Technol.*, 2, 2, 206–220 <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00422>
26. Ohmenhaeuser, M., Monakhova, Y.B., Kuballa, T., Lachenmeier, D.W. (2013). Qualitative and Quantitative Control of Honeys Using NMR Spectroscopy and Chemometrics. *ISRN Analytical Chemistry*. Article ID 825318, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/825318>
27. Olawode, E.O., Tandlich, R., Cambray, G. (2018). ¹H-NMR Profiling and Chemometric Analysis of Selected Honeys from South Africa, Zambia, and Slovakia. *Molecules*, 23, 578. doi:10.3390/molecules23030578
28. Song, X., She, S., Xin, M., Chen, L., Li, Y., Vander Heyden, Y., Rogers, K. M., Chen, L. (2020). Detection of adulteration in Chinese monofloral honey using ¹H nuclear magnetic resonance and chemometrics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 86, [103390]. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103390>
29. Spiteri, M., Jamin, E., Thomas, F., Rebours, A., Lees, M., Rogers, K. (2015). Fast and global authenticity screening of honey using ¹H-NMR profiling. *Food Chemistry*, 189, 60-66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.099>
30. Deng, J., Liu, R., Lu, Q., Hao, P., Xu, A., Zhang, J., Tan, J. (2018). Biochemical properties, antibacterial and cellular antioxidant activities of buckwheat honey in comparison to manuka honey. *Food Chemistry*, 252, 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.115>
31. Rachineni, K., Kakita, V. M., Awasthi, N. P., Shirke, V. S., Hosur, R. V., Shukla, S.C. (2022). Identifying type of sugar adulterants in honey: Combined application of NMR spectroscopy and supervised machine learning classification. *Current Research in Food Science*, 5, 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2022.01.008>
32. Kruk, D., Masiewicz, E., Budny, J., Kolodziejcki, K., Zulewska, J., Wiczorek, Z. (2022). Relationship between macroscopic properties of honey and molecular dynamics – temperature effects. *Journal of Food Engineering*, 314. 110782 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110782>.
33. Luong, D.V., Tam, N.Q., Xuan, D.T.T., Tai, N.T. (2019). NMR based metabolomic approach for evaluation of Vietnamese honey. *Viet. J. Chem.*, 57, 712–716. <https://doi.org/10.1002/vjch.2019000101>
34. Donarski, J. A., Jones, S.A., Charlton, A.J. (2008). Application of Cryoprobe ¹H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy and Multivariate Analysis for the Verification of Corsican Honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 14, 5451-5456 doi: 10.1021/jf072402x
35. Donarski, J. A., Jones, S.A., Harrison, M., Driffield, M., Charlton, A.J. (2010). Identification of botanical biomarkers found in Corsican honey. *Food Chemistry*, 118 (4),987-994. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.10.033
36. Rashid, M., Singh, S.K., Singh, C. Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy: Theory and Applications. 2021. P. 469-512. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6084-6_18
37. Keeler, J. Understanding NMR Spectroscopy. Wiley Interscience, New Jersey, 2010.
38. Lambert, J. B., Mazzola, E.P., Ridge, C.D. Nuclear magnetic resonance spectroscopy: an introduction to principles, applications, and experimental methods. John Walley&Sons, 2019.
39. Chen, D., Wang, Z., Guo, D., Orekhov, V., Qu, X. (2020). Review and Prospect: Deep Learning in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Chemistry. A European Journal*, 26 (46), 10391-1040 <https://doi.org/10.1002/chem.202000246>
40. Qu, Q., Jin, L. (2022). Application of nuclear magnetic resonance in food analysis *Food Sci. Technol*, 42 <https://doi.org/10.1590/fst.43622>

Стаття надійшла до редакції 22 травня 2023 року

УДК 663.41.051:543.92

Пенкіна Н. М.,

penkina natali77@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0125-4275

*к.т.н., доц., доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Татар Л. В.,

tornago1972@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3432-2142, Researcher ID HGB-1089-2022,

*к.т.н., старший викладач кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Соколова Є. Б.,

evgenia-sokolova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6246-6012,

*к.т.н., доц., доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

ФОРМУВАННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИВА З ДОДАВАННЯМ ХВОЙНОГО ЕКСТРАКТУ

Анотація. У статті досліджено формування смаку і аромату пива з додаванням хвойного екстракту методом профілю флейвора, визначено загальний вміст речовин, що зумовлюють аромат напою. Метою статті є теоретичне та експериментальне виявлення закономірностей впливу натуральних рослинних компонентів із хвої сосни на формування смаку і аромату крафтового пива. Науково обґрунтовано доцільність використання нетрадиційної рослинної сировини у виробництві напою. Як додаткову сировину для виробництва пива обрано хвою, яка за хімічним складом та властивостями наближена до шишок хмелю. Обґрунтовано часткову заміну основного і найдорожчого компоненту – шишок хмелю на хвою сосни звичайної у рецептурі пива. Методом експертної оцінки визначено раціональне співвідношення хмелю та хвої сосни у вигляді екстракту у перерахунку на сублімаційну сировину. Встановлено, що пиво виготовлене за класичним рецептом та розроблене пиво «Смарагд» мають однакові показники хмелевої гіркоти, що підтверджує доцільність і правильний вибір сировини для заміни хмелю та збереження смакових характеристик напою. Дріжджовий смак має помірну інтенсивність у всіх зразках пива, що свідчить про те, що додавання хвойного екстракту не змінює повноти смаку напоїв. Хвойний тон відчувався останнім: ледь розпізнавався в напої із заміною 10% хмелю та був сильно інтенсивним – із заміною хмелю 25%. Виявлено, що смакові відчуття терпкості збільшуються за рахунок високого вмісту поліфенольних (дубильних) речовин хвойного екстракту. Зі збільшення кількості додаткової рослинної сировини до 25% з'являється слабкий деревний присмак, обумовлений вмістом у хвойному екстракті терпенів, які формують специфічний смак. Дослідженнями встановлено, що гармонійними та збалансованими є зразки, що передбачають заміну хмелю в кількості 15% та 20%. Загальне враження від цих напоїв оцінено на три, залишковий присмак – тонкий або відчутний хвойний, який швидко зникає. Установлено, що пиво «Смарагд» містить біологічний комплекс, який складається з ароматичних речовин (за числом аромату) в кількості 3361 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/100$ мл., а пиво виготовлене за класичною технологією 2170 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/100$ мл. Отримані результати показують, що ароматоутворювальні речовини хвої сосни позитивно впливають на загальний смак і аромат напою, оскільки органолептичні показники пива є основними під час дегустаційної оцінки його якості.

Створення нового сорту пива «Смарагд», збагаченого біологічно-активними речовинами за рахунок уведення додаткового інгредієнту у вигляді хвойного екстракту, дозволить розширити асортимент напоїв відповідної галузі високого рівня якості з оригінальними органолептичними показниками.

Ключові слова: крафтове пиво, залишковий присмак, хвойний екстракт, метод флейвора, число аромату.

Penkina N.

penkinanatali77@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0125-4275>

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Trade, hotel and restaurant and customs affairs,
State Biotechnological University, Kharkiv*

Tatar L.,

tornago1972@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3432-2142>,

Researcher ID HGB-1089-2022,

*Ph.D., Senior teacher of the Department of Trade, hotel and restaurant and customs affairs,
State Biotechnological University, Kharkiv*

Sokolova Ye.,

evgenia-sokolova@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6246-6012>,

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Trade, hotel and restaurant and customs affairs,
State Biotechnological University, Kharkiv*

FORMATION OF ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF BEER WITH THE ADDITION OF CONIFEROUS EXTRACT

Abstract. *The article investigates the formation of the taste and aroma of beer with the addition of pine needle extract using the flavour profile method, determines the total content of substances that determine the aroma of the drink. The aim of the article is to theoretically and experimentally identify the regularities of the influence of natural plant components from pine needles on the formation of taste and aroma of craft beer. The expediency of using non-traditional plant materials in the production of the beverage is scientifically substantiated. As an additional raw material for the production of beer, pine needles were chosen, which are close to hop cones in chemical composition and properties. The article substantiates the partial replacement of the main and most expensive component - hop cones - with pine needles in the beer recipe. The rational ratio of hops and pine needles in the form of an extract in terms of freeze-dried raw materials was determined by the method of expert evaluation. It was found that the beer made according to the classical recipe and the developed beer "Emerald" have the same indicators of hop bitterness, which confirms the feasibility and correct choice of raw materials for replacing hops and preserving the taste characteristics of the drink. The yeast flavour was moderately intense in all beer samples, indicating that the addition of coniferous extract did not change the fullness of the flavour of the beverages. The coniferous tone was the last to be felt: it was barely recognisable in the drink with 10% hop replacement and was very intense with 25% hop replacement. It was found that the taste sensation of astringency increases due to the high content of polyphenolic (tannins) substances in the coniferous extract. With an increase in the amount of additional plant material to 25%, a faint woody flavour appears due to the content of terpenes in the coniferous extract, which form a specific taste. The research has shown that the most harmonious and balanced samples are those with 15% and 20% hop replacement. The overall impression of these beverages was rated as three, with a subtle or perceptible piney aftertaste that quickly disappears. It was found that the beer "Emerald" contains a biological complex consisting of aromatic substances (by the number of aromas) in the amount of 3361 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/100$ ml, and the beer was produced using the classical technology 2170 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/100$ ml. The results obtained show that the aroma-forming substances of pine needles have a positive effect on the overall taste and aroma of the drink, since the organoleptic characteristics of beer are the main ones in the tasting assessment of its quality.*

The creation of the new «Emerald» beer, enriched with biologically active substances by introducing an additional ingredient in the form of pine extract, will expand the range of drinks in the relevant industry with a high level of quality and original organoleptic characteristics.

Key words: craft beer, residual aftertaste, coniferous extract, flavor method, aroma number.

JEL Classification: L15, L23

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-04

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні розвиваються міні-пивоварні, орієнтовані на виробництво крафтового пива, що передбачає використання лише натуральних інгредієнтів. Останнім часом натуральну лікарську пряно-ароматичну сировину витіснили синтетичні добавки, які є шкідливими та можуть накопичуватись в організмі людини у вигляді різних алергенів.

Пиво – перспективний продукт для збагачення біологічно-активними добавками (БАР), оскільки воно належить до напоїв масового споживання. Створення нових авторських сортів з оригінальними органолептичними властивостями спонукає пивоварів до пошуку нових джерел для розширення асортименту пива [1]. Застосування додаткових натуральних інгредієнтів для виробництва пива дозволить покращити його органолептичні властивості та збагатити готовий продукт БАР.

Особливий інтерес викликає хвоя сосни, яка за хімічним складом і властивостями наближена до відповідних показників шишок хмелю – основної сировини для пивоваріння. Оскільки, на формування смаку і аромату пива впливають органічні та неорганічні сполуки, які утворюються під час бродіння [2], необхідно звернути увагу на додаткові інгредієнти, додавання яких впливає на смакові властивості готового напою.

З огляду на це, використання нетрадиційної рослинної сировини (хвої сосни у вигляді екстракту) та виявлення впливу натуральних рослинних компонентів додаткового інгредієнту на формування смаку і аромату крафтового нефільтрованого пива є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом в Україні й багатьох інших країнах особливою популярністю користується нефільтроване крафтове пиво. Воно відрізняється від традиційного пива особливою технологією, інноваційними рецептурами, що включають різні нетрадиційні натуральні рослинні компоненти.

Хміль є незамінною сировиною в пивоварінні, оскільки надає пиву специфічного аромату, сприяє піностійкості та стійкості під час зберігання [3]. Але цей компонент є й найдорожчим у виробництві пива. Вчені розглядають використання додаткових інгредієнтів та заміну хмелю на рослинну сировину, яка має високий вміст БАР і надасть готовому напою певних функціональних властивостей [1]. Хімічний склад хвої сосни найбільш наближений до складу шишок хмелю (поліфенольні (дубильні) речовини, низькомолекулярні фенольні сполуки, гіркі речовини, смоли, ефірну олію тощо) [4]. Вона є джерелом природ-

них антиоксидантів, має високу харчову та біологічну цінність [5; 6], отже, може бути використана як альтернатива хмелю [7].

Проведені аналітичні дослідження показали, що нові підходи до оцінки органолептичних та токсикологічних характеристик основних продуктів бродіння пива дають можливість виявити речовини, які формують еталон допустимої токсичності та смакоароматичний букет напою. Органічні та неорганічні сполуки, які утворюються під час бродіння та доброджування впливають на формування органолептичних показників пива [1, 8].

Протягом останніх років в індустрії світового пивоваріння успішно користуються розробленою Європейською Пивоварною Конвенцією (ЕВС) за сприяння Американського товариства хіміків пивоваріння (ASBC) системою термінів і стандартним описом найважливіших смаків і ароматів пива, прийнятих і зрозумілих на міжнародному рівні [1].

Дегустаційне оцінювання пива є досить суб'єктивним, оскільки не може повною мірою охарактеризувати вплив якісного складу та кількісного вмісту компонентів аромату використаної сировини. Отже, необхідно звернути увагу на визначення загальної кількості речовин, які формують смак і аромат готового продукту.

Постановка завдання. Метою роботи є теоретичне та експериментальне виявлення закономірностей впливу натуральних рослинних компонентів із хвої сосни на формування смаку і аромату крафтового пива.

Об'єктом дослідження є пиво світле, виготовлене за класичною технологією; розроблене пиво світле «Смарагд» з додаванням хвойного екстракту. Як основа для виробництва нового напою з додаванням екстракту хвої була використана класична технологія приготування світлого пива. Використовували гранули ароматичного хмелю (сорт Hallertau Hersbrucker), які надають пиву насиченого аромату, норма гірких речовин $G_c=0,4-0,7$ г/дал сусла; солод пивоварний ячмінний світлий сорту Malteurop Pilsen; дріжджі пивні низового бродіння Saftbrew T-58, 2–3-ї генерації пивоварні ТОВ «ОЛНА» (м. Харків). Більш детально з технологією отримання водного хвойного екстракту та розробленого пива з його додаванням можна ознайомитись у науковій роботі [8].

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою формування якісних показників крафтового пива необхідно науково обґрунтувати

та сформувати споживні властивості готового продукту з використанням хвойного екстракту і шишок хмелю та методом експертної оцінки визначити їх раціональні дози в рецептурі напою.

Ураховуючи досвід роботи підприємства ТОВ «ОЛНА» найбільшою популярністю, особливо серед молоді, користується світле пиво з масовою часткою спирту 3,0 об.%.
 Під час розробки рецептурного складу алко-гольних напоїв особливе значення має гранично допустима концентрація лікарської рослинної сировини [9; 10]. Кількість пива, що одноразово споживається людиною, коливається залежно від індивідуальної чутливості, фізичної активності, раціону харчування, статі та ін. У співпраці зі співробітниками Національного фармацевтичного університету (м. Харків) з огляду на досвід вивчення фітоекстрактів [10] було розраховано раціональний діапазон кількості введення хвої до рецептури пива за умови збереження її профілактичної дії та враховуючи максимально можливе одноразове споживання напою. Раціональний інтервал кількості хвої визначено у межах 0,02–0,05 кг на 1 дал пива.

Водночас у рецептурі пива передбачили економію гранул хмелю та їх часткову заміну на хвойний екстракт у межах 10–25% за масою в перерахунок на сублимаційну сировину (табл. 1).
 Верхня межа обумовлена визначеною раціональною кількістю хвої, що можна максимально використати в рецептурі, а нижня – його органолептичними показниками. Пиво з внесенням додаткової сировини менше 10% не має ознак хвойного смаку й аромату.
 Оскільки оригінальний смак під час вибору пива за результатами маркетингового дослідження перебуває на першому місці, його відповідність вимогам споживачів є визначальним чинником конкурентоспроможності продукції. Об'єктивну оцінку сенсорних показників розро-

бленого пива проведено з використанням описового експертного методу профільного аналізу відповідно [11].

Метод флейвора (Flavor Profil) – це комбінований ефект від смакових властивостей, ароматичного сприйняття та відчуттів дотику в порожнині рота. Він базується на двох етапах: побудові органолептичного профілю ароматизованого напою та оцінюванні кожного інгредієнта рецептури за шкалою бажаності та інтенсивності відчуття, щоб була можливість описати флейвор продукту [12; 13].

Дегустацію проведено комісією у складі шести фахівців – виробників пива підприємства ТОВ «ОЛНА». Для оцінювання ступеня інтенсивності характеристики випробовувачі використовували попередньо складений список термінів та створену таку шкалу бажаності й інтенсивності відчуття: 0 = відсутність; 1 = тільки розпізнавання або поріг; 2 = слабка інтенсивність; 3 = помірна; 4 = сильна; 5 = дуже сильна. При цьому оцінювали дескриптори смаку, які є важливими для споживачів і входять у комплексний профіль флейвору гіпотетичного еталона: солодовий, хвойний, дріжджовий, хмелева гіркота, терпкий, деревний.

Загальне враження є загальною оцінкою продукту, що враховує адекватність характеристик, які сприймаються, їхню інтенсивність, фоновий флейвор, який ідентифікується, і змішування флейворів. Загальну оцінку виставляли за трибальною шкалою: 3 – гарне враження; 2 – середнє враження; 1 – погане враження.

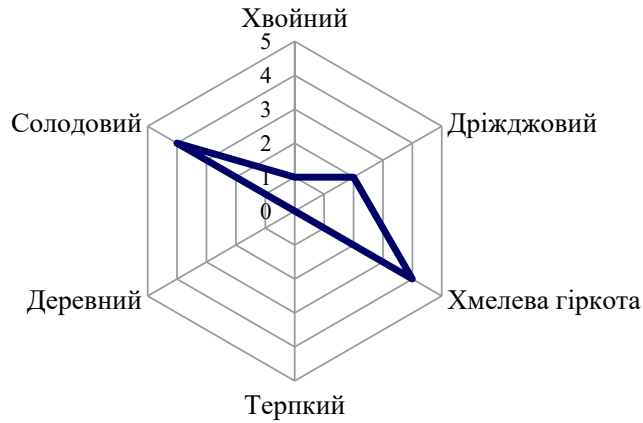
За результатами побудовано кругові схеми-спектри флейвору розроблених зразків пива з додаванням хвойного екстракту із заміною хмелю (рис. 1–4).

Аналізуючи проведені дослідження, встановлено, що напої мають однакові показники хмелевої гіркоти, що підтверджує доцільність і правильний вибір сировини для заміни хмелю

Таблиця 1

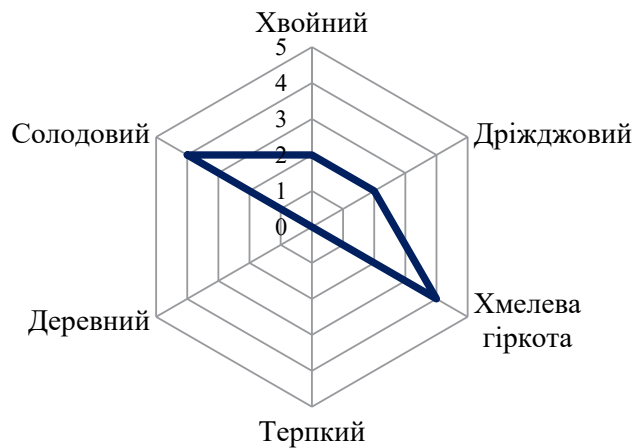
Витрати сировини на 1 дал пива

Назва сировини	Пиво, виготовлене за класичною технологією	Пиво із заміною гранул хмелю на хвою, %			
		10	15	20	25
Солод пивоварний ячмінний світлий, кг	2,5	2,5			
Дріжджі низового бродіння, кг	0,075	0,075			
Гранули хмелю, кг	0,180	0,160	0,150	0,140	0,130
Водний екстракт хвої (з відповідною кількістю сухої сировини), л	-	0,190	0,270	0,350	0,430
Вода технологічна	Решта				



Залишковий присмак: ледь відчутний хвойний
Стійкість: швидко зникає
Загальне враження: 2

Рис. 1. Кругова схема спектра флейвору дослідного зразка пива з додаванням хвойного екстракту із заміною хмелю 10%



Залишковий присмак: відчутний хвойний
Стійкість: швидко зникає
Загальне враження: 3

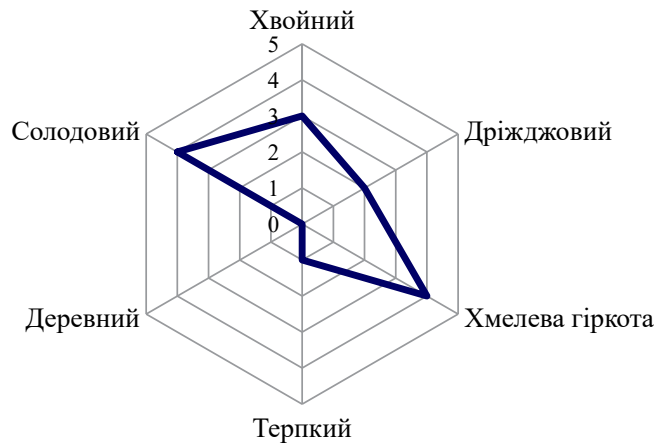
Рис. 2. Кругова схема спектра флейвору дослідного зразка пива з додаванням хвойного екстракту із заміною хмелю 15%

та збереження смакових характеристик напою. Дріжджовий смак має помірну інтенсивність у всіх зразках пива, що свідчить про те, що додавання хвойного екстракту не змінює повноти смаку напоїв. Хвойний тон відчувався останнім: ледь розпізнавався в напої із заміною 10% хмелю та був сильно інтенсивним – із заміною хмелю 25%. Виявлено, що смакові відчуття терпкості збільшуються за рахунок високого вмісту поліфенольних (дубильних) речовин хвойного екстракту. Зі збільшенням кількості додаткової рослинної сировини до 25% з'являється слабкий

деревний присмак, обумовлений вмістом у хвойному екстракті терпенів, які формують специфічний смак.

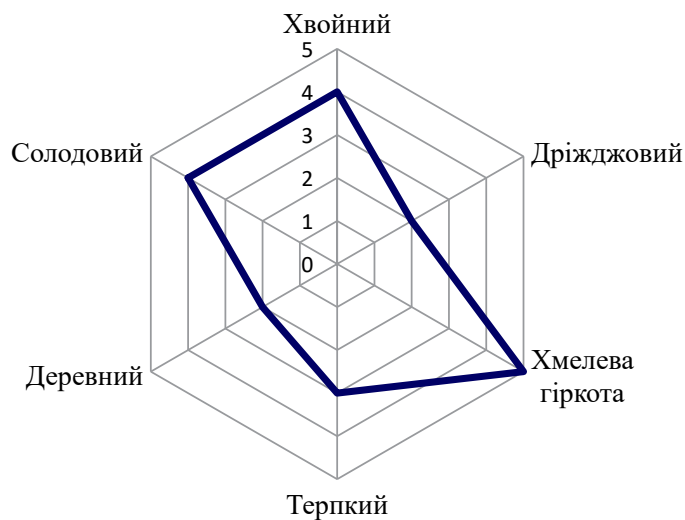
Дослідженнями встановлено, що гармонійними та збалансованими є зразки, що передбачають заміну хмелю в кількості 15% та 20%. Загальне враження від цих напоїв оцінено на три, залишковий присмак – тонкий або відчутний хвойний, який швидко зникає.

Вплив запаху певної речовини в загальному ароматі виражається числом аромату. Число аромату – це похідне від ділення масової концентра-



Залишковий присмак: тонкий хвойний
Стійкість: швидко зникає
Загальне враження: 3

Рис. 3. Кругова схема спектра флейвору дослідного зразка пива з додаванням хвойного екстракту із заміною хмелю 20%



Залишковий присмак: виражений хвойний
Стійкість: досить тривала
Загальне враження: 2

Рис. 4. Кругова схема спектра флейвору дослідного зразка пива з додаванням хвойного екстракту із заміною хмелю 25%

ції речовини на її порогову концентрацію. Для повної оцінки вираженості аромату пива «Смарагд» визначено загальний вміст речовин, що зумовлюють аромат напою. Це повною мірою характеризує вплив на готовий напій кількісного вмісту ароматоутворювальних речовин використаної сировини [14].

Визначення числа аромату проводили методом, заснованим на здатності хромової суміші окиснювати ефірні олії. За кількістю витраченого

біхромату калію обчислювали вміст ароматичних речовин у пиві (табл. 2).

Визначено, що пиво «Смарагд» має число аромату, яке в 1,5 рази перевищує даний показник пива виготовленого за класичним рецептом. Таким чином, доведено, що розроблене пиво містить більшу кількість речовин, які зумовлюють його аромат унаслідок додавання хвойного екстракту.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Науково обґрунтовано

Результати визначення числа аромату в пиві (n = 5, P ≥ 0,95)

Зразок пива	Кількість 0,1 М розчину Na ₂ S ₂ O ₃ , витраченого на титрування 5 мл хромової суміші, мл	Число аромату (мл Na ₂ S ₂ O ₃ /100 мл)
Виготовлене за класичним рецептом	9,4	2170
«Смарагд»	15,1	3361

доцільність використання нетрадиційної рослинної сировини у виробництві крафтового пива. Основними критеріями вибору сировини стали її вплив на формування споживних властивостей готового напою, фармакологічні властивості, економічна обґрунтованість, уміст БАР, можливість використання на виробництві. Як додаткову сировину для виробництва пива обрано хвою, яка за хімічним складом та властивостями наближена до шишок хмелю.

Методом експертної оцінки визначено раціональне співвідношення хмелю та хвої сосни у вигляді екстракту у перерахунку на сублімаційну сировину. Дослідженнями встановлено, що гармонійними та збалансованими є зразки, що передбачають заміну хмелю в кількості 15% та 20%.

Установлено, що розроблене пиво «Смарагд» містить біологічний комплекс, який складається з ароматичних речовин (за числом аромату) в кількості 3361 мл тіосульфату натрію в 100 мл. Отримані результати показують, що ароматоутворювальні речовини хвої сосни позитивно впливають на загальний смак і аромат напою, оскільки органолептичні показники пива є основними під час дегустаційної оцінки його якості.

Вище наведені данні вказують, що створення нового сорту пива «Смарагд», збагаченого БАР за рахунок уведення додаткового інгредієнту у вигляді хвойного екстракту, дозволить розширити асортимент напоїв високого рівня якості з оригінальними органолептичними показниками. Подальшим напрямком досліджень є пошук нетрадиційної натуральної рослинної сировини для виробництва крафтового пива, що дозволить покращити оригінальні смакові властивості, підвищити антиоксидантні властивості та подовжити термін зберігання готового напою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Романова З.М., Романов М.С. Перспективи використання рослинної сировини у пивоварінні. *Проблеми екологічної технології*. 2012. № 2. С. 71–80.
2. Хіврич Б.І., Роздобудько Б.В. Вплив заміників солоду на концентрацію основних смакових

і ароматичних компонентів пива. *Харчова наука і технологія*. 2013. № 3(24). С. 31–34.

3. ДСТУ 4098.1-2002. Хміль ароматичний. Частина 1. Хміль-сирець ароматичний. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт, 2003. 11 с.

4. Penkina N., Tatar L., Kolesnyk V., Karbivnycha T., Letuta T. Research into quality of beer with the addition of pine needles extract. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, seriya: Technology and equipment of food production*. 2017. Vol. 2, № 10 (86). P. 40–48. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98180>

5. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Медичні вимоги до якості та безпечності харчових продуктів та продовольчої сировини»: закон України. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0088-13>

6. Zeng W. C., Zhang Y., Gao H., Jia L. R., He Q. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from pine needle (*Cedrus deodara*). *Journal Food Sci*. 2012. Vol. 77 (7). P. 824–829. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02767.x>

7. Пенкіна Н.М., Татар Л. Формування органолептичних властивостей пива з використанням листя хвойних порід дерев. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека*: матеріали Міжнар. науково-практичної конференції, 28–29 травня 2015 р. Київ: НУХТ, 2015. С. 82–83.

8. Penkina N., Tatar L., Kolesnyk V., Karbivnycha T., Letuta T. The study of beer quality with the reduced toxic effect. *EUREKA: Life Sciences*. 2017. Number 1. P. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00303>

9. Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Радченко Л.О., Павлюк В.А. та ін. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини (Інновації при переробці плодів, овочів, молока) : монографія. Харків: Факт, 2017. 380 с.

10. Ощипок І.М. Використання нових харчових добавок з рослинної сировини у харчовій промисловості. *Вісник Львівської комерційної академії. Товарознавство*. 2015. № 15. С. 77–81.

11. ДСТУ ISO 6564:2005. Дослідження сенсорне. Методологія. Методи створення флейвору (ISO 6564:1985, IDT). Київ : Держспоживстандарт України 2006. 10 с.

12. Рудавська Г., Хахалева І. Сенсорний аналіз відновлених напоїв із цикорію методом профілю флейвору. *Товари і ринки*. 2016. № 1 (21). С. 131–136.

13. Бочарова О., Мельник І., Гнатовська Д., Чуб С. Використання профільного методу при оцінюванні якості пива. *Харчова наука і технологія*. 2017. № 1 (1). С. 50–56.

14. Артамонова М.В., Пілюгіна І.С., Кузнецова Т.О. Формування органолептичних показників маршмелову з рослинним добавками з троянди. *Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі* : збірник наук праць. Харків : ХДУХТ, 2014. С. 323–330.

REFERENCES:

1. Romanova Z.M., Romanov M.S. Perspektyvy vykorystannia roslynnoi syrovyny u pyvovarinni. *Problemy ekolohichnoi tekhnolohii*. 2012. № 2. S. 71–80.

2. Khivrych B.I., Rozdobudko B.V. Vplyv zaminn-ykiv solodu na kontsentratsiiu osnovnykh smakovykh i aromatychnykh komponentiv pyva. *Kharchova nauka i tekhnolohiia*. 2013. № 3(24). S. 31 – 34.

3. DSTU 4098.1-2002. Khmil aromatychnyi. Chastyna 1. Khmil-syrets aromatychnyi. *Tekhnichni umovy*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart, 2003. 11 s.

4. Penkina N., Tatar L., Kolesnyk V., Karbivnycha T., Letuta T. Research into quality of beer with the addition of pine needles extract. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, seriya: Technology and equipment of food production*. 2017. Vol. 2, № 10 (86). P. 40–48.

5. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Medychni vymohy do yakosti ta bezpechnosti kharchovykh produktiv ta prodovolchoi syrovyny»: zakon Ukrainy. URL:<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0088-13>

6. Zeng W. C., Zhang Y., Gao H., Jia L. R., He Q. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil from pine needle (*Cedrus deodara*). *Journal Food Sci*. 2012. Vol. 77 (7). P. 824–829.

7. Penkina N.M., Tatar L. Formuvannia orhanoleptychnykh vlastyvostei pyva z vykorystanniam lystia khvoynykh porid derev. *Ozdorovchi kharchovi produkty ta diietychni dobavky: tekhnolohii, yakist ta bezpeka: materialy Mizhnar. naukvo-praktychnoi konferentsii*, 28–29 travnia 2015 r. Kyiv: NUKhT, 2015. S. 82–83.

8. Penkina N., Tatar L., Kolesnyk V., Karbivnycha T., Letuta T. The study of beer quality with the reduced toxic effect. *EUREKA: Life Sciences*. 2017. Number 1. P. 35–43.

9. Pavliuk R.Iu., Poharska V.V., Radchenko L.O., Pavliuk V.A. ta in. Novyi napriamok hlybokoi pererobky kharchovoi syrovyny (Innovatsii pry pererobtsi plodiv, ovochiv, moloka) : monohrafiia. Kharkiv: Fakt, 2017. 380 s.

10. Oshchypok I.M. Vykorystannia novykh kharchovykh dobavok z roslynnoi syrovyny u kharchovii promyslovosti. *Visnyk Lvivskoi komertsiiinoi akademii. Tovaroznavstvo*. 2015. № 15. S. 77–81.

11. DSTU ISO 6564:2005. Doslidzhennia sensorne. Metodolohiia. *Metody stvorennia fleivoru (ISO 6564:1985, IDT)*. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy 2006. 10 s.

12. Rudavska H., Khakhalieva I. Sensorny analiz vidnovlenykh напоїв із цикорію методом профілю флейвору. *Товари і ринки*. 2016. № 1 (21). С. 131–136.

13. Bocharova O., Melnyk I., Hnatovska D., Chub S. Використання профільного методу при оцінюванні якості пива. *Харчова наука і технологія*. 2017. № 1 (1). С. 50–56.

14. Artamonova M.V., Piliuhina I.S., Kuznetsova T.O. Formuvannia orhanoleptychnykh pokaznykiv marshmelou z roslynnyim dobavkamy z troiandy. *Prohresyvni resursozberihaiuchi tekhnolohii ta yikh ekonomichne obgruntuvannia u pidpriemstvakh kharchuvannia. Ekonomichni problemy torhivli* : zbirnyk nauk prats. Kharkiv : KhDUKhT, 2014. S. 323–330.

Стаття надійшла до редакції 15 травня 2023 року

ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 665.127-047.44:631.526.3:633.368

Любич В. В.,

LyubichV@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4100-9063,

Researcher ID: W-8897-2018

д. с.-г. н., проф., професор кафедри харчових технологій

Уманський національний університет садівництва, м. Умань

Войтовська В. І.,

uman06062020@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5538-461X

к. с.-г. н., старший науковий співробітник

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків, м. Київ

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ НАСІННЯ СОРТІВ АРАХІСУ

Анотація. У статті висвітлено формування технологічних властивостей насіння сортів арахісу за показниками біохімічного складу. Встановлено, що макроскладник мало змінюється залежно від сорту арахісу, проте мікроскладова насіння змінюється у великому діапазоні. Встановлено, що вміст жиру в насінні арахісу може становити 45,4–48,6 %, білка – 25,0–26,5, вуглеводів – 2,1–3,3, клітковини – 7,8–8,3 % за вологості 6,9–7,8 %. Необхідно відзначити, що 100 г насіння арахісу найбільше забезпечує добову потребу організму людини жиром – на 49,3–52,9 %. Найменше цю потребу забезпечує вуглеводами – на 2,1–3,3 %. Інтегральний скор для білка становив 26,9–28,5 %, а для клітковини – 36,5–41,5 % залежно від сорту. Всі досліджені сорти арахісу мали високу біологічну цінність за вмістом жиру та білка. Насіння сортів арахісу Валенсія українська, Валенсія 433 і Степняк є джерелом вітамінів – B_6 , B_5 , B_9 , B_1 , E , B_3 та мінеральних елементів – Mn , Se , Zn , Fe , Cu , P , Mg , оскільки мають найвищий інтегральний скор. Зерно сортів Вірджинія 936 і Періс поступаються іншим сортам за одним або кількома складовими. Результати досліджень свідчать, що з п'яти зразків арахісу сорти Валенсія українська та Валенсія 433 мали високий інтегральний скор для всіх вітамінів. У сорту Степняк цей показник був високим, крім вітаміну B_1 . Так, встановлено, що найвищий інтегральний скор був для вітаміну B_3 – 87,9–133,6 % залежно від сорту. Найменше добову потребу організму людини 100 г насіння забезпечувало вітаміном C – на 3,2–5,2 %. Інтегральний скор для вітамінів B_9 , B_1 і E був на рівні 43,4–68,7 % залежно від сорту арахісу. Інтегральний скор для вітамінів B_6 і B_5 становив 24,6–35,0 % залежно від сорту арахісу. найвищий інтегральний скор мало 100 г насіння для магнію – 74,3–80,0 % залежно від сорту арахісу. Добову потребу в фосфорі 100 г насіння арахісу забезпечувало на 61,8–63,6 % залежно від сорту. Найнижчий інтегральний скор був для натрію – 0,3–0,5 %, що зумовлено високою потребою організму людини (4000 мг/добу). Добову потребу для міді 100 г насіння арахісу забезпечувало на 55,0 %. Інтегральний скор для Fe , Zn , Se і Mn була на рівні 18,0–35,7 %, а для Ca і S – 4,9–7,5 % залежно від сорту арахісу.

Ключові слова: арахіс, сорт, інтегральний скор, макроскладова, мікроскладова.

Liubych V. V.,

LyubichV@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4100-9063,

Researcher ID: W-8897-2018

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Food Technology

Uman National University of Horticulture, Uman

Voitovska V. I.,

uman06062020@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5538-461X

PhD, Senior Researcher,

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, Kyiv

TECHNOLOGICAL ASSESSMENT OF PEANUT VARIETIES SEEDS

Abstract. The article highlights the formation of technological properties of peanut varieties seeds based on indicators of biochemical composition. It was established that a macro-component slightly changes depending on peanut variety, but a micro-component of the seeds varies in a wide range. It was established that fat content in peanut seeds can be 45.4–48.6%, protein – 25.0–26.5%, carbohydrates – 2.1–3.3%, fiber – 7.8–8.3% with moisture content 6.9–7.8%. It should be noted that 100 g of peanut seeds provides the most daily fat needs of the human body – by 49.3–52.9%. The least amount of this need is provided by carbohydrates – by 2.1–3.3%. The integral score for protein was 26.9–28.5%, and for fiber – 36.5–41.5% depending on the variety. All investigated peanut varieties had high biological value in terms of fat and protein content. Seeds of Valencia Ukrainska, Valencia 433 and Stepniak peanut varieties are a source of vitamins – B6, B5, B9, B1, E, B3 and minerals – Mn, Se, Zn, Fe, Su, P, Mg, as they have the highest integral score. Virginia 936 and Paris grain varieties are inferior to other ones in one or more components. The research results show that out of five peanut samples, Valencia Ukrainska and Valencia 433 varieties had the high integral score for all vitamins. In Stepniak variety, this indicator was high, except for vitamin B1. Thus, it was established that the highest integral score was for vitamin B3 – 87.9–133.6% depending on the variety. 100 g of seeds provided the least daily need of the human body with vitamin C – by 3.2–5.2%. Integral score for vitamins B9, B1 and E was at the level of 43.4–68.7% depending on the peanut variety. The integral score for vitamins B6 and B5 was 24.6–35.0% depending on the peanut variety. The highest integral score of 100 g of seeds for magnesium was 74.3–80.0% depending on the peanut variety. 100 g of peanut seeds provided 61.8–63.6% of the daily phosphorus requirement depending on the variety. The lowest integral score was for sodium – 0.3–0.5%, which is due to the high need of the human body (4000 mg/day). 100 g of peanut seeds provided 55.0% of the daily copper requirement. Integral score for Fe, Zn, Se and Mn was at the level of 18.0–35.7%, and for Ca and S – 4.9–7.5% depending on the peanut variety.

Key words: peanut, variety, integral score, macro-component, micro-component.

JEL Classification: L 15, L 23

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-05

Постановка проблеми. Олійні культури мають важливе значення, оскільки використовуються в багатьох галузях виробництва [1]. Арахіс (*Arachis hypogaea* L.) вирощують майже у всіх тропічних і субтропічних країнах. Найбільшими виробниками насіння арахісу є Індія, Китай, США та Західна Африка [2].

Фітостероли та тритерпени складають найбільшу частку неомильних компонентів рослинних олій. Вони мають протизапальні, антибактеріальні, антиартеросклеротичні, антиоксидантні, противиразкові та протипухлинні властивості, а також мають окиснювальну та термічну стабільність [3]. Насіння арахісу має високу харчову і комерційну цінність завдяки високому вмісту білка, жирних кислот, вуглеводів і клітковини, а також вітамінів, кальцію і фосфору. Арахісова олія використовується в кулінарії, а також у виробництві маргаринів, косметичних виробів, фармацевтичних препаратів і поверхнево-активних речовин [4].

Знежирене арахісове борошно є побічним продуктом переробки арахісу, який містить 47–55 % білка з високою харчовою цінністю [5]. Основними білками є глобуліни, арахін і конархін, які становлять близько 95 % від загальної кількості білка насіння [6, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженнями [8] доведено, що біохімічний складник насіння може значно змінюватись залежно від сорту. Встановлено, що порівняно з іншими олійними культурами, насіння арахісу має низьку кількість фосфоліпідів (0,65–1,35%), 0,8% неомилених жирів і 44,2–56,9 % олії зі складом жирних кислот, в основному представлених олеїновою (37,9–41,9 %), лінолевою (34,6–37,5 %), пальмітиновою (12,2–13,3 %), стеариновою (3,2–3,7 %) та арахідоною (1,6–1,9 %) кислотами [9]. Найбільш поширеними жирними кислотами в олії насіння арахісу є олеїнова, лінолева і пальмітинова, які разом становлять близько 88,7 % від загальної кількості жирних кислот. Вміст білка може сягати 22,5–30,7 % білка [10].

В інших дослідженнях [11] встановлено, що вміст жиру змінювався від 45,3 до 48,5 % залежно від сорту. Крім цього, в роботі досліджували фракційний склад білка та вміст поліфенолів, проте вміст вітамінів і мінеральних елементів не вивчався.

У дослідженнях [12] доведено, що вміст жиру та жирних кислот також значно змінюється залежно від сорту арахісу. При цьому розраховано, що інтегральний скор для насичених жир-

них кислот може становити від 45,3 до 48,5 %, мононенасичених – від 79,5 до 88,8, а поліненасичених – від 326,0 до 369,0 % залежно від сорту арахісу. Результати проведення інших досліджень [13, 14] також підтверджують про значне коливання біохімічного складника різних сортів.

Отже, біохімічна складова насіння арахісу значно змінюється залежно від особливостей сорту. Тому впровадження у виробництво нових сортів арахісу зумовлює проведення додаткових досліджень щодо технологічного оцінювання насіння.

Мета статті – провести технологічне оцінювання насіння арахісу залежно від сорту за показниками біохімічного складу.

Постановка завдання. Експериментальну частину роботи щодо вирощування різних сортів сорго зернового виконано в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків. У досліді після пшениці озимої вирощували сорти арахісу Валенсія українська, Валенсія 433, Степняк, Вірджинія 936, Періс. Технологічне оцінювання проводили у навчально-науковій лабораторії Уманського НУС «Оцінювання якості зерна і продуктів його перероблення» упродовж 2020–2021 р.

Вміст вітамінів і мінеральних елементів визначали методом рідинної хроматографії на аналізаторі Хромос-301, а інтегральний скор – за такою формулою:

$$I = \frac{\Phi}{D} \times 100,$$

де I – інтегральний скор, %; Φ – фактичний вміст складника, мг/100 г; D – добова потреба складника організмом здорової людини, мг.

Статистичну обробку даних проводили дисперсійним аналізом. Дисперсійним аналізом підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення коефіцієнта «р», який показував ймовірність відповідної гіпотези. У випадках коли $p < 0.05$ «нульова

гіпотеза» спростовувалась, а вплив чинника був достовірним.

Виклад основного матеріалу дослідження. Встановлено, що в насінні арахісу вміст жиру змінювався від 45,4 до 51,7 % залежно від сорту за вологості 6,5–7,8 % (табл. 1). Вміст білка мало змінювався і становив 25,0–26,5 %. Вміст клітковини також мало змінювався від сорту арахісу – 7,8–8,3 %. Проте вміст вуглеводів становив від 8,0 до 12,2 % залежно від сорту арахісу.

Необхідно відзначити, що 100 г насіння арахісу найбільше забезпечує добову потребу організму людини жиром – на 49,3–52,9 %. Найменше цю потребу забезпечує вуглеводами – на 2,1–3,3 %. Інтегральний скор для білка становив 26,9–28,5 %, а для клітковини – 36,5–41,5 % залежно від сорту. Всі досліджені сорти арахісу мали високу біологічну цінність за вмістом жиру та білка.

Вміст вітамінів у насінні арахісу значно змінювався залежно від сорту (табл. 2). Так, із досліджених вітамінів вміст B_2 був найнижчим, який становив 0,12–0,18 мг/100 г насіння. Вміст вітаміну B_3 був найвищим – 12,5–18,7 мг/100 г насіння. Вміст вітаміну E змінювався від 6,51 до 10,3 мг/100 г, а вміст решти вітамінів був у межах 0,23–5,2 мг/100 г насіння арахісу.

Результати досліджень свідчать, що з п'яти зразків арахісу сорти Валенсія українська та Валенсія 433 мали високий інтегральний скор для всіх вітамінів. У сорту Степняк цей показник був високим, крім вітаміну B_1 . Так, встановлено, що найвищий інтегральний скор був для вітаміну B_3 – 87,9–133,6 % залежно від сорту. Найменше добову потребу організму людини 100 г насіння забезпечувало вітаміном C – на 3,2–5,2 %. Інтегральний скор для вітамінів B_9 , B_1 і E був на рівні 43,4–68,7 % залежно від сорту арахісу. Інтегральний скор для вітамінів B_6 і B_5 становив 24,6–35,0 % залежно від сорту арахісу.

Таблиця 1

Біохімічний складник та інтегральний скор насіння арахісу залежно від сорту, %

Показник	Сорт арахісу									
	Валенсія українська		Валенсія 433		Степняк		Вірджинія 936		Періс	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Вода	7,8	–	6,5	–	7,4	–	6,9	–	6,9	–
Клітковина	8,3	41,5	7,3	36,5	7,8	39,0	8,0	40,0	8,0	40,0
Вуглеводи	9,9	2,6	12,2	3,3	10,2	2,7	8,0	2,1	8,0	2,1
Білки	26,5	28,5	25,1	27,0	26,0	28,0	25,2	27,1	25,0	26,9
Жири	45,4	49,3	47,6	51,7	46,3	50,3	48,7	52,9	48,6	52,8

Примітка. 1 – біохімічний складник, 2 – інтегральний скор.

Таблиця 2

Вміст вітамінів та інтегральний скор насіння арахісу залежно від сорту

Показ-ник	Сорт арахісу									
	Валенсія українська		Валенсія 433		Степняк		Вірджинія 936		Періс	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
B ₂	0,12	10,9	0,18	16,4	0,14	12,7	0,13	11,8	0,13	11,8
B ₉	0,24	60,0	0,24	60,0	0,24	60,0	0,24	60,0	0,23	57,5
B ₆	0,35	26,9	0,33	25,4	0,35	26,9	0,34	26,2	0,32	24,6
B ₁	0,75	68,2	0,64	58,2	0,65	59,1	0,66	60,0	0,65	59,1
B ₅	1,75	35,0	1,80	36,0	1,78	35,6	1,73	34,6	1,70	34,0
C	5,2	5,2	4,4	4,4	4,7	4,7	3,3	3,3	3,2	3,2
E	10,3	68,7	9,7	64,7	8,9	59,3	6,55	43,7	6,51	43,4
B ₃	18,7	133,6	17,1	122,1	17,3	123,6	12,3	87,9	12,5	89,3

Примітка. 1 – вміст вітамінів, мг/100 г, 2 – інтегральний скор, %.

Таблиця 3

Вміст мінеральних елементів та інтегральний скор насіння арахісу залежно від сорту

Показ-ник	Сорт арахісу									
	Валенсія українська		Валенсія 433		Степняк		Вірджинія 936		Періс	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Se	0,007	20,6	0,007	20,6	0,007	20,6	0,006	17,6	0,006	17,6
Cu	1,1	55,0	1,1	55,0	1,1	55,0	1,1	55,0	1,1	55,0
Mn	1,9	19,0	1,9	19,0	1,8	18,0	1,8	18,0	1,8	18,0
Zn	3,2	22,9	3,3	23,6	3,5	25,0	4,2	30,0	4,0	28,6
Fe	5,0	35,7	4,3	30,7	4,8	34,3	2,9	20,7	2,9	20,7
Na	21	0,5	15	0,4	17	0,4	10	0,3	12	0,3
Ca	75	7,5	68	6,8	71	7,1	81	8,1	78	7,8
Mg	184	80,0	181	78,7	178	77,4	173	75,2	171	74,3
S	245	4,9	241	4,8	245	4,9	249	5,0	245	4,9
P	350	63,6	341	62,0	348	63,3	345	62,7	340	61,8
K	555	12,3	500	11,1	512	11,4	558	12,4	550	12,2

Примітка. 1 – вміст мінеральних елементів, мг/100 г, 2 – інтегральний скор, %.

Вміст мінеральних елементів також значно коливався залежно від сорту арахісу (табл. 3). Встановлено, що в насінні всіх сортів арахісу вміст калію був найвищим – 500–555 мг/100 г насіння. Вміст селену був найнижчим – 0,006–0,007 мг/100 г насіння арахісу. Результати розрахунків свідчать, що насіння сортів Валенсія українська, Валенсія 433 і Степняк мали високу біологічну цінність за всіма дослідженими мінеральними елементами (Se, Cu, Mn, Zn, Fe, Na, Ca, Mg, S, P, K). Насіння сортів Вірджинія 936 і Періс – за всіма елементами, крім заліза.

Встановлено, що найвищий інтегральний скор мало 100 г насіння для магнію – 74,3–80,0 % залежно від сорту арахісу. Добову потребу в фосфорі 100 г насіння арахісу забезпечувало на 61,8–63,6 % залежно від сорту. Найнижчий інтегральний скор був для натрію – 0,3–0,5 %, що

зумовлено високою потребою організму людини (4000 мг/добу). Добову потребу для міді 100 г насіння арахісу забезпечувало на 55,0 %. Інтегральний скор для Fe, Zn, Se і Mn була на рівні 18,0–35,7 %, а для Ca і S – 4,9–7,5 % залежно від сорту арахісу.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Встановлено, що макроскладник мало змінюється залежно від сорту арахісу, проте мікроскладова насіння змінюється у великому діапазоні. Встановлено, що вміст жиру в насінні арахісу може становити 45,4–48,6 %, білка – 25,0–26,5, вуглеводів – 2,1–3,3, клітковини – 7,8–8,3 % за вологості 6,9–7,8 %. Насіння сортів арахісу Валенсія українська, Валенсія 433 і Степняк є джерелом вітамінів – B₆, B₅, B₉, B₁, E, B₃ та мінеральних елементів – Mn, Se, Zn, Fe, Cu, P, Mg, оскільки мають найвищий

інтегральний скор. Зерно сортів Вірджинія 936 і Періс поступають іншим сортам за одним або кількома складовими.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Любич В. В. Значення виду жирозамінника в технології кексів. *Вісник Уманського НУС*. 2022. № 1. С. 88–94.

2. Bhatti I.A., Shahid S.A.M., Asi M.R., Mehboob S. Quality index of oils extracted from γ -irradiated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) of the golden and bari varieties. *Applied Radiation and Isotopes*. 2010. Vol. 68, Issue 12. P. 2197–2201.

3. Nakai V.K., Rocha L.O., Gonçalez E., Fonseca H., Ortega, E.M.M., Corrêa B. Distribution of fungi and aflatoxins in a stored peanut variety. *Food Chemistry*. 2008. Vol. 106. P. 285–290.

4. Liu H., Li H., Gu J., Deng L., Ren L., Hong Y., Lu Q., Chen X., Liang X. Identification of the Candidate Proteins Related to Oleic Acid Accumulation during Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Seed Development through Comparative Proteome Analysis. *Int J Mol Sci*. 2018. Vol. 19(4). Article number 1235.

5. Yoshida H., Hirakaw Y., Tomiyama Y., Nagamizu T., Mizushina Y. Fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in peanut seeds (*Arachis hypogaea* L.) following microwave treatment. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2005. Vol. 18. P. 3–14.

6. Yoshida H., Shigezaki J., Takagi S., Kajimoto G. Variations in the composition of various acyl lipids, tocopherols and lignans in sesame seed oils roasted in a microwave oven. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1995. Vol. 68. P. 407–415.

7. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 95. С. 146–161.

8. Любич В. В., Войтовська В.І., Сторожик Л. І., Приходько В. О. Характеристика жирно-кислотного складу олії сорго залежно від сортових особливостей. *Новітні агротехнології*. 2022. № 3. С. 5–13.

9. Kaya C., Hamamci C., Baysal A., Akba O., Erdogan S., Saydut A. Methyl ester of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Renewable Energy*. 2009. Vol. 34. P. 1257–1260.

10. Ingale S., Shrivastava S.K. Nutritional study of new variety of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) JL-24 seeds. *African Journal of Food Science*. 2011. Vol. 5 (8). P. 490–498.

11. Sebeia K., Gnoumaa A., Herchia W., Sakouhia F., Boukhchina S. Lipids, proteins, phenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of seeds of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) cultivated in Tunisia. *Biol. Res*. 2013. Vol.46(3). P. 257–263.

12. Любич В. В., Войтовська В.І. Жирнокислотний склад насіння різних сортів арахісу та його харчова цінність. *Збірник Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 34–40.

13. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2016. Вип. 89. С. 199–206.

14. Любич В. В., Войтовська В. І., Третякова С. О., Климович Н. М. Технологічне оцінювання якості насіння сої залежно від сорту. *Вісник Уманського НУС*. 2020. № 2. С. 32–37.

REFERENCES:

1. Lyubich V. V. (2022). Znachennia vydu zhyrozaminyka v tekhnolohii keksiv [The importance of the type of fat substitute in the technology of cupcakes]. *Bulletin of the Uman State University*, no. 1, pp. 88–94.

2. Bhatti I.A., Shahid S.A.M., Asi M.R., Mehboob S. (2010). Quality index of oils extracted from γ -irradiated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) of the golden and bari varieties. *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 68, issue 12, pp. 2197–2201.

3. Nakai V.K., Rocha L.O., Gonçalez E., Fonseca H., Ortega, E.M.M., Corrêa B. (2008). Distribution of fungi and aflatoxins in a stored peanut variety. *Food Chemistry*, vol. 106, pp. 285–290.

4. Liu H., Li H., Gu J., Deng L., Ren L., Hong Y., Lu Q., Chen X., Liang X. (2018). Identification of the Candidate Proteins Related to Oleic Acid Accumulation during Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Seed Development through Comparative Proteome Analysis. *Int J Mol Sci.*, vol. 19(4), Article number 1235.

5. Yoshida H., Hirakaw Y., Tomiyama Y., Nagamizu T., Mizushina Y. (2005). Fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in peanut seeds (*Arachis hypogaea* L.) following microwave treatment. *Journal of Food Composition and analysis*, vol. 18, pp. 3–14.

6. Yoshida H., Shigezaki J., Takagi S., Kajimoto G. (1995). Variations in the composition of various acyl lipids, tocopherols and lignans in sesame seed oils roasted in a microwave oven. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 68, pp. 407–415.

7. Liubych V. V. (2017). Produktivnist sortiv i liniy pshenyts zalezno vid abiotychnykh i biotychnykh chynnykiv [Productivity of varieties and lines of wheat depending on abiotic and biotic factors]. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, vol. 95, pp. 146–161. (in Ukrainian).

8. Lyubich V.V., Voitovska V.I., Storozhyk L.I., Prykhodko V.O. (2022). Kharakterystyka zhyrnokyslotnoho skladu olii sorho zalezno vid sortovykh osoblyvostei [Characterization of the fatty acid composition of sorghum oil depending on varietal

characteristics]. *Advanced Agritechnologies*, no. 3, pp. 5–13.

9. Kaya C., Hamamci C., Baysal A., Akba O., Erdogan S., Saydut A. (2009). Methyl ester of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 1257–1260.

10. Ingale S., Shrivastava S.K. (2011). Nutritional study of new variety of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) JL-24 seeds. *African Journal of Food Science*, vol. 5 (8), pp. 490–498.

11. Sebeia K., Gnoumaa A., Herchia W., Sakouhia F., Boukhchina S. (2013). Lipids, proteins, phenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of seeds of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) cultivated in Tunisia. *Biol. Res.*, vol. 46(3), pp. 257–263.

12. Lyubich V.V., Voitovska V.I. (2022). Zhynokyslotnyi sklad nasinnia riznykh sortiv arakhisu

ta yoho kharchova tsinnist [Fatty acid composition of seeds of different varieties of peanut and its nutritional value]. *Collection of the Uman NUS*, vol. 100, pp. 34–40.

13. Liubych V.V. (2016). Biolohichna tsinnist bilka pshenytsi spelty zalezno vid pokhodzhennia sortu ta linii [Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain]. *Bulletin of Uman NUH*, vol. 89, pp. 199–206. (in Ukrainian).

14. Lyubich V.V., Voitovska V.I., Tretyakova S.O., Klymovych N.M. (2020). Tekhnolohichne otsiniuvannia yakosti nasinnia soi zalezno vid sortu [Technological evaluation of soybean seed quality depending on the variety]. *Bulletin of the Uman State University*, no. 2, pp. 32–37.

Стаття надійшла до редакції 15 травня 2023 року

УДК 664

Ощипок І. М.,

*him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376, Researcher ID: F-4641-2019, д.т.н., проф.,
завідувач кафедри харчових технологій, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

Онишко Л. Й.,

*onyszko@ukr.net,
к.т.н., доц. кафедри харчових технологій, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

***Анотація.** У статті порушені важливі питання пріоритетних завдань підвищення рівня рентабельності й оснащення промислових холодильників і торгового холодильного обладнання для супермаркетів. поставлені питання вдосконалення методів аналізу холодильного устаткування в системах забезпечення діючого виробництва холоду. Розглянута складова підвищення ефективності експлуатації, технічного сервісу та діагностики холодильного обладнання (холодильних машин) і холодильників на підставі своєчасного проведення модернізації за оцінкою їх стану в реальному масштабі часу, враховуючи невизначеність інформації про холодовиробництво. Показані невеликі зміни, які спостерігаються у сьогоднішні до підвищених вимог технічного оснащення холодильників з погляду екологічної безпеки, поліпшення умов зберігання, збереження якості харчових продуктів. споживачі висувають все більш високі вимоги до необхідності впровадження сучасного холодильного обладнання, крім цього, слід враховувати вимоги екології в нормативних обмеженнях щодо температур зберігання харчових продуктів, енергоспоживання та застосування нових видів холодоагентів у холодильних установках. Змодельовані умови виготовлення холоду та впливи експлуатаційних відмов частин холодильних машин на працездатність всієї технічної системи й оснащення як альтернативу придбанню нового обладнання. показані формалізовані способи виявлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями (відмовами) та вихідними показниками процесу заморожування та їх усунення. Запропонована альтернатива придбанню нового обладнання через модернізацію та переоснащення наявного. Для цього слід враховувати індивідуальні особливості технологічних процесів підприємства і тоді приступати до модернізації холодильних систем. Якість функціонування обладнання залежить від багатьох факторів, а в більшості від добротності його складових. Розглянуті типи модернізації холодильних машин за їх агрегуванням. Модернізацію показали в контексті заміни холодоагенту та (або) оливи, в поточній працюючій системі і питань, що стосуються компресора, зміни його продуктивності та ефективності у зв'язку з новими термодинамічними характеристиками або зміною функціональних можливостей, як регулювання перегрівання на розширювальних пристроях, зміни вологості. Оцінені ризики від різних типів модернізації.*

Ключові слова: холодильна техніка, технологія, модернізація, торгове обладнання, енергетичні характеристики.

Oshchypok I. M.,

*him1960@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5427-3376, Researcher ID: F-4641-2019, Doctor of Engineering,
Professor, Head of the Department of Food Technologies, Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

Onyshko L. Y.,

*onyszko@ukr.net,
Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

MODERNIZATION AND CONVERSION OF REFRIGERATION EQUIPMENT

***Abstract.** The article raises important issues of priority tasks of increasing the level of efficiency and equipping industrial refrigerators and commercial refrigeration equipment for supermarkets. The issues of improving the methods of analysis of refrigeration equipment in the systems of ensuring the active production*

of cold are put under the research. The component of improving the efficiency of operation, technical service and diagnostics of refrigerating equipment (refrigerating machines) and refrigerators based on timely modernization based on the assessment of their condition in real time, taking into account the uncertainty of information about refrigeration production, is considered. Considerable changes are shown, which are observed today to the increased requirements for the technical equipment of refrigerators from the point of view of environmental safety, improvement of storage conditions, preservation of the quality of food products. Consumers are putting forward increasingly high demands for the need to introduce modern refrigeration equipment, in addition, environmental requirements should be taken into account in regulatory restrictions on food storage temperatures, energy consumption and the use of new types of refrigerants in refrigeration units. Simulated conditions for the production of cold and the effects of operational failures of parts of refrigerating machines on the efficiency of the entire technical system and equipment, as an alternative to purchasing new equipment. Formalized methods of identifying cause-and-effect relationships between events (failures) and initial indicators of the freezing process and their elimination are shown. An alternative to the purchase of new equipment through modernization and re-equipment of existing equipment is proposed. For this, individual features of the company's technological processes should be taken into account and then proceed with the modernization of refrigeration systems. The quality of the functioning of the equipment depends on many factors, and mostly on the quality of its components. Considered types of modernization of refrigerating machines according to their aggregation. Modernization was shown in the context of replacing the refrigerant and (or) oil, in the current working system, and the issue related to the compressor, changes in its performance and efficiency in connection with new thermodynamic characteristics or changes in functionality, such as regulation of overheating on expansion devices, changes in humidity. Assessed risks from different types of modernization.

Key words: refrigeration equipment, technology, modernization, trade equipment, energy characteristics.

JEL Classification: L7, L64, O13

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-06

Постановка проблеми. У сучасних умовах експлуатації складних технічних систем, таких як промислові холодильники (ПРХ), необхідно звернути увагу не тільки на оптимізацію енерго-ефективних режимів їх роботи та ресурсозбереження, а й на питання міцності, працездатності обладнання, ефективності його експлуатації та ремонту, від якості здійснення яких залежать витрати на підтримку технічних установок у працездатному стані, безпечному для технологічних процесів та персоналу.

Сучасне виробництво холоду в промислових холодильниках, які призначені для збереження продуктів харчування, тим самим забезпечуючи життєдіяльність населення і роботу переробних і харчових виробництв, одночасно є одним із джерел техногенної небезпеки. До виробничої аварійності холодильного обладнання ПРХ призводять: неприпустимий знос основних виробничих фондів, неефективні проектні та технічні рішення, несвоєчасне виконання робіт із обслуговування та ремонту.

Тому до пріоритетних завдань щодо підвищення рівня робоздатності оснащення ПРХ відносяться питання вдосконалення методів аналізу його міцності, правильного використання результатів такого аналізу в системах забез-

печення діючого виробництва холоду. Відомі способи оцінки стану та міцності оснащення холодильників, що ґрунтуються на математичному аналізі теорії міцності, теорії ймовірності, способах теорії стійкості, мають обмеження у застосуванні для комплексного вивчення стану оснащення ПРХ в критеріях експлуатації [1]. це обумовлено тим, що холодильне оснащення ПРХ є достатньо складним з технічної точки зору. Технічна система діагностики, що функціонує, завжди в умовах неоднозначного виміру значної кількості показників є невизначеною. Врахувати вплив того чи іншого вхідного параметра і знайти у результаті як раптові, так і спричинені зносом холодильного обладнання відмови та несправності частин оснащення ПРХ у період довготривалої експлуатації існуючими методами важко.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання технології виготовлення штучного холоду, математичного моделювання, умов експлуатації холодильного обладнання ПРХ, розвитку методів його експлуатації, стану міцності, робоздатності, вирішення проблеми аналізу безпеки викидів CO₂, ризику виникнення аварій досить широко представлені в спеціальній літературі [1-5]. Завдяки базовим роботам, проведеним за два останні десятиліття, досягнуто зна-

чних успіхів у даній сфері досліджень. Серед них слід відзначити праці українських дослідників Ю. Г. Сухенка, В. Ю. Сухенка, М. Г. Хмельнюка, О. С. Підмазка, І. А. Підмазка, М. М. Муштрука, О. В. Остапенко, О. В. Зіміна [3-5], в яких старанно оглянуті загальні питання довговічності, функціонування технічних об'єктів харчової промисловості. Серед сучасних наукових досліджень підкреслимо наукові праці О. О. Оніщенка, В. М. Букароса, А. Ю. Букароса, у яких створені системи діагностики та контролю технічного стану холодильних установок на базі відомих fdd (fault detection and diagnostics) способів діагностики спеціальних технологічних систем штучного холоду [9, 10]. У той же час мінімізація втрати якості заморожених продуктів харчування з різними характеристиками, які знаходяться в холодильних камерах промислових холодильників великої потужності, вимагає від фахівців додаткових досліджень із впровадження інтелектуальних технологій процесів діагностування стану холодильних машин [2, 7, 8, 10, 11, 12].

Постановка завдання. Важливою складовою підвищення ефективності експлуатації, технічного сервісу та діагностики холодильного обладнання (холодильних машин) і холодильників є своєчасне проведення модернізації за оцінкою його стану в реальному масштабі часу, враховуючи невизначеність інформації про холодовиробництво.

З метою моделювання умов виготовлення холоду та впливу експлуатаційних відмов частин холодильних машин на працездатність всієї технічної системи й оснащення ПРХ як альтернативу придбання нового обладнання застосуємо формалізовані способи виявлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями (відмовами) та

вихідними показниками процесу заморожування та їх усунення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Модернізація – технічне покращення існуючого холодильного обладнання, яке вже пройшло певний експлуатаційний ресурс, з метою досягнення кращих технічних та технологічних показників за меншої витрати енергоресурсів, заміна морально та фізично застарілого холодильного обладнання. на сьогоднішній день модернізація вимагає значних фінансових вкладень від підприємств. Стикаючись із такого роду утрудненнями, часто вирішується дилема між продовженням експлуатації застарілого обладнання та придбанням нового. Розуміючи ці труднощі, з якими виробництву доводиться стикатися, пропонується альтернатива придбання нового обладнання – модернізацією та переоснащенням наявного. Для цього враховуються індивідуальні особливості технологічних процесів підприємства і приступають до модернізації холодильних систем (рис. 1).

Також враховуються утилізація виділеного тепла холодильними машинами та його рекуперація у системі вентиляції.

Якість функціонування обладнання залежить від багатьох факторів, а саме: від добротності його складових (рис. 2).

Тара та упаковка забезпечують збереження виробів при транспортуванні, вантажно-розвантажувальних роботах та складуванні. пусконаладжувальні та сервісні роботи обумовлюються технічним рівнем сервісних центрів та кваліфікацією монтажників. Якщо по всьому ланцюжку немає збоїв, то можна бути впевненим, що обладнання прослужить довго, виконуючи свою основну функцію і не вимагаючи надмірних додатко-



Рис. 1. Процес модернізації холодильних систем



Рис. 2. Складові якості функціонування обладнання

вих витрат на обслуговування та ремонт. Проте ці заходи слід починати не в момент несправності обладнання, а в момент процесу виробництва та його запуску в експлуатацію.

У сьогоднішні спостерігаються немалі зміни щодо підвищення вимог і технічного оснащення ПРХ з погляду екологічної безпеки, поліпшення умов зберігання, збереження якості харчових продуктів. З одного боку, споживачі висувають все більш високі вимоги, а отже, необхідне сучасне холодильне обладнання та збільшення його кількості. З іншого боку, слід враховувати вимоги екології, нормативи та обмеження щодо температур зберігання харчових продуктів, енергоспоживання та застосування нових холодоагентів у холодильних установках.

Новою ініціативою Євросоюзу стала вимога, щоб супермаркети документально реєстрували рівень коливання температури у холодильних камерах об'ємом понад 10 м³. Запропоновано реєструвати температуру кожні 4 години та зберігати ці записи протягом року. Всі зареєстровані дані слід зберігати у персональному комп'ютері у кабінеті директора супермаркету та щомісяця роздруковувати.

У Великобританії ці вимоги поширені і на дрібні торгові підприємства, що торгують продуктами, що швидко псуються, зберігають охолоджені і заморожені продукти в торговельному холодильному устаткуванні і стаціонарних камерах, що охолоджуються.

Дані правила та норми підвищують вимоги до роботи та регулювання холодильних установок. Тому підприємства, що виробляють холодильне обладнання, часто стикаються з потребою у більш

точному регулюванні та забезпеченні документування роботи холодильних установок.

Інша проблема, пов'язана з експлуатацією холодильного обладнання, – озонна проблема та парниковий ефект. Відомо, що одним із головних заходів при вирішенні першої проблеми є переведення всіх холодильних установок у супермаркетах на озонобезпечні холодоагенти. Дискусії щодо парникового ефекту привернули додаткову увагу до енергоспоживання супермаркетів, необхідності його скорочення.

У Данії було проаналізовано енергоспоживання супермаркетами з метою диференціювання витрати електроенергії на освітлення, опалення та охолодження. З'ясувалося, що у супермаркеті торговою площею до 1200 м² на холодильні установки припадає 64 % загального обсягу енергоспоживання. Данія та інші європейські країни запровадили податки на вуглекислий газ та на споживану електроенергію. Держава йде навіть на те, що для економії енергії надає субсидії на модернізацію холодильних установок, якщо супермаркет документально підтвердить, що це знижує витрати електроенергії.

Перед виробниками та постачальниками холодильного обладнання постали нові завдання у зв'язку з появою наступних вимог до холодильного обладнання:

- забезпечення безпеки зберігання їжі, захист від зовнішніх факторів та збереження якості, створення оптимальних умов без великих температурних коливань;

- енергозбереження, тобто хороший захист від теплопритоків та автоматизована регульованість холодильної системи;

- відповідність нормативним вимогам щодо реєстрації температури;
- наявність перспективи щодо можливої заміни холодоагенту;
- менша потреба в обслуговуванні, тобто надійна працездатність та довговічність холодильної системи.

Центр технічного обслуговування холодильного обладнання повинен мати телефонну лінію, підключену до персонального комп'ютера через модем та міжмережевий шлюз. Це дає можливість приймати сигнали з супермаркету та регулювати роботу холодильної установки дистанційно.

У даний час намітився перехід до вищого рівня організації виробництва холодильного обладнання – виготовлення та постачання підприємствами моноблочних холодильних машин повної заводської готовності, включаючи систему автоматичного управління, контролю та захисту. Такий спосіб дозволяє здійснювати випуск холодильних машин на підприємствах, оснащених удосконаленими технологічними лініями, що мають висококваліфікований персонал.

Установка у торговельному холодильному устаткуванні моноблочних автоматизованих машин має деякі переваги (рис. 3).

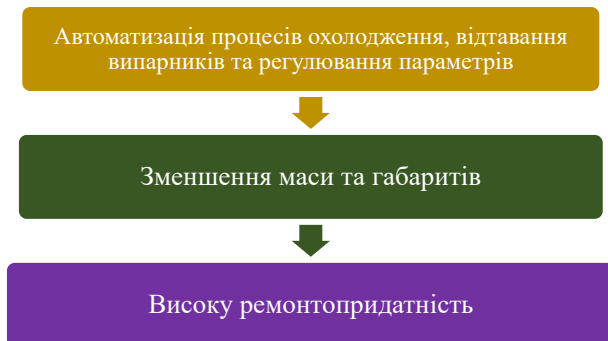


Рис. 3. переваги устаткування моноблочних автоматизованих машин

розробляється холодильне обладнання із застосуванням заливної пінополіуретанової ізоляції. При цьому виникає можливість збирання корпусів машин із окремих панелей, що значно спрощує конструкцію холодильного обладнання та технологію його збірки. Принцип агрегування знаходить дедалі ширше поширення. У блочному виконанні випускається значна номенклатура устаткування. Серед основних переваг автоматизованих блокових холодильних машин слід відзначити високий рівень заводської готовності, що зводить до мінімуму монтажні роботи в інших галузях застосування. Зрештою, така робота

сприятиме вирішенню головної екологічної проблеми ХХІ ст. – забезпечення умов, за яких біосферні відновлювальні процеси зможуть протидіяти негативному впливу техносфери.

Розглянемо модернізацію холодильних машин за їх агрегуванням. Модернізація систем охолодження в цьому контексті визначається як заміна холодоагенту та (або) оливи у поточній працюючій системі (рис. 4). Добре відомо, що можливі наслідки модернізації переважно стосуються сумісності ущільнень, що призводять до витoku або несправності системи, а також налаштування окремих вузлів (наприклад, розширювальних пристроїв та інших компонентів, що використовуються у системі).

Зосередимо увагу на питанні сумісності матеріалів, які можуть виникнути під час модернізації компонентів у системах охолодження. Питання сумісності полягає в тому, що зміна хімічного складу при переході з однієї суміші холодоагенту та оливи на іншу призведе до істотних змін експлуатаційних характеристик ущільнень, що призводить до витoku або порушення роботи компонентів. З технічної точки зору ризик стосується переважно змін об'єму та питань ступеня стиснення для стандартного нединамічного ущільнення, де серед інших параметрів також мають значення такі властивості, як твердість, клейкість, подовження, здатність працювати при максимальній та мінімальній температурі. Ризик є добре відомим, та виробники ущільнень і холодоагентів для модернізації зараз вказують, що у разі модернізації всі ущільнення повинні бути замінені. Також добре відомо, що для більшості ущільнень, які використовуються у системах охолодження, різні типи оливи можуть спричинити різний вплив відносно зміни властивостей ущільнювального матеріалу. Загальна проблема при виконанні модернізації – зміна може призвести до того, що частинки та залишки експлуатаційних матеріалів, які до модернізації були у системі, можуть відокремитися у нових умовах. Вони можуть змінити колір або викликати небажані механічні зміни у модернізованій системі.

Оцінимо ризики від типу модернізації.

Тип модернізації 1. Заміна холодоагентів зі схожими сумісними властивостями та оливою, тип якої залишається таким самим.

- При заміні холодоагенту не буде змінено властивості ущільнювального матеріалу і не буде значних ризиків.

- Тип модернізації може бути “з ГФВ на ГФВ/ГФО” при збереженні типу оливи ПОЕ. Ризик



Рис. 4. Схема агрегатів для модернізації холодильної установки

може розцінюватися як малий, якщо характеристики температури та тиску є однаковими.

- При заміні ущільнень ризик є низьким, оскільки видаляється весь холодоагент. Реакція будь-якої оливи, яка залишилася в системі, буде аналогічною реакції нової оливи для модернізації, якщо стара олива не була розшарованою або зіпсованою у старій системі.

- Ризик ускладнень є дуже низьким, що також підтверджується фактичними даними проведених випробувань.

Тип модернізації 2. Заміна холодоагентів із відмінними властивостями та оливою, тип якої залишається такою ж.

- Заміна холодоагенту може викликати питання стосовно дегазації (зменшення в об’ємі) або надмірного здуття матеріалу ущільнень при модернізації.

- Тип модернізації може бути “з ГХФВ на ГФВ/ГФО” при збереженні типу оливи МО. Ризик може розцінюватися як малий, якщо характеристики температури та тиску є однаковими.

- Однією з найсерйозніших проблем на поточний момент є використання ущільнень із великою кількістю пом’якшувачів, котрі можуть бути змиті первинним холодоагентом, і також при зворотній ситуації з холодоагентом для модернізації діяти аналогічно попередньому холодоагенту для забезпечення загального хімічного складу системи.

- При заміні ущільнень ризик є низьким, оскільки видаляється весь холодоагент. Реакція будь-якої оливи, яка залишилася в системі, буде аналогічною реакції нової оливи для модернізації.

Таблиця 1

Типи модернізації стосовно сумісності експлуатаційних матеріалів

Тип модернізації	Тип холодоагенту	Тип оливи	Стислий опис зміни властивостей	Оцінка ризику
1	з ГФВ на ГФВ/ГФО	з ПОЕ на ПОЕ з ПВЕ на ПВЕ	Попередній холодоагент та холодоагент для модернізації мають однакові властивості відповідно до хімічного складу	Дуже низький
2	з ГХФВ на ГФВ/ГФО	з МО на МО з АБ на АБ	Попередній холодоагент та холодоагент для модернізації мають різні властивості відносно хімічного складу	Незначний
3	з ГХФВ на ГФВ/ГФО	з МО на ПОЕ/ ПВЕ з АБ на ПОЕ/ПВЕ	Попередній холодоагент та холодоагент для модернізації мають різні властивості відносно хімічної сумісності з ущільненнями. Заміна оливи може призвести до зміни їх властивостей.	Значний

Примітка. Вищевказана оцінка ризику дійсна лише в тому випадку, якщо було виконано повну заміну ущільнень. Повна назва – гідрохлорфторвуглець (ГХФВ), гідрофторвуглець (ГФВ), гідрофторолефін (ГФО), полівінілефір (ПВЕ), мінеральна олива (МО), алкілбензол (АБ), на основі поліолестерів (пое).

ції, якщо стару оливу не було розшаровано або зіпсовано у старій системі.

- Ризик ускладнень є незначним, що також підтверджується даними випробувань.

Тип модернізації 3. Заміна холодоагенту і типу оливи на варіанти з відмінними властивостями.

- При заміні будуть змінені властивості ущільнювального матеріалу, що призводить до значних ризиків.

- Тип модернізації може бути “з ГХФВ на ГФВ/ГФО”, а тип оливи змінюється з МО на ПОЕ. Ризик може розцінюватися як значний та високий, якщо характеристики температури та тиску не є однаковими.

- При заміні ущільнень ризик є низьким, якщо видаляється весь холодоагент.

- Проблема полягає у несумісності при наявності у системі двох типів оливи, які мають різну сумісність із ущільнюючим матеріалом. Отже, навіть якщо хімічний склад системи може бути придатним для використання ПОЕ-оливи з ГФВ/ГФО-холодоагентом, наявність оливи типу МО може викликати інші проблемні зміни в сумісності ущільнювального матеріалу, що призводить до витоків або несправності. З цієї причини також необхідно використовувати відповідний термостатичний розширювальний клапан, а також індикатор вологи та фільтр, оскільки олива, що не зміщується, може призвести до зміни механічних та хімічних властивостей.

- У разі заміни ущільнень та холодоагенту відповідно до вищевказаного значним ризиком є заміна типу оливи. Якщо можлива 100 % заміна оливи, ризик буде незначним, як для типу модернізації 2. Проте часто неможливо замінити весь об'єм оливи. Запобіжні заходи, наприклад покращена лінія видалення оливи, може зменшити ризик циркуляції суміші оливи через усю систему холодильника; проте забезпечення цього залежить від конкретної системи.

- Крім того, деякі холодоагенти для модернізації містять якусь кількість вуглеводнів, із якими зміщується МО. З теоретичної точки зору це повинно призвести до можливої циркуляції оливи типу МО в системі.

- Ризик ускладнень є значним, оскільки існує багато різних варіантів розвитку ситуацій, які мають відношення до збільшення кількості замінюваної оливи у відсотках, а також до типу холодоагенту для модернізації. Попередні дані відсутні. Крім того, може підвищитися ризик зміни характеристик системи, таких як температура та тиск.

розглянемо питання, що стосуються компресора, зміни продуктивності та ефективності у зв'язку з новими термодинамічними характеристиками або зміною функціональних можливостей, таких як регулювання перегрівання на розширювальних пристроях, зміна вологості.

Компресор: встановлюємо можливість компресора працювати з новим холодоагентом; перевіряємо, наскільки зміниться холодопродуктивність; придатність використання даного обладнання і матеріалів; перевіряються граничні значення температури та тиску та можливість заміни запрошеної оливи новою.

Конденсатор: перевіряється відповідність потужності конденсатора новій продуктивності компресора. Холодоагенти з температурним глайдом вимагають більшої поверхні у зв'язку з меншою середньою різницею температур. Це може викликати збільшення температури конденсації.

Випарник: перевіряються продуктивність і експлуатаційні характеристики, що відповідають вимогам щодо зберігання продукції, з точки зору підтримання вологості. Холодоагенти з температурним глайдом можуть спричинити вищий рівень осушення.

Клапани: електромагнітні клапани та інші типи клапанів (рис. 4) з гумовими прокладками повинні бути оснащені новими прокладками. Як правило, олива/холодоагент можуть потрапити на них та викликати здуття. З додаванням нової оливи/холодоагенту старий вміст буде змито, прокладка більше не буде герметичною та через деякий період часу спричинить витікання.

Перевіряються термостатичні розширювальні клапани або клапани, які мають термостатичний елемент, запрошений для певного типу холодоагенту, і не можуть бути використані з іншим новим типом холодоагенту. Для перевірки цього можна порівняти криву залежності тиску від температури старого та нового холодоагентів. Якщо клапан можна відрегулювати, то різниця настроювання за бажаної температури системи повинна становити не більше ніж на 3 К, регулювання відповідно до нових умов можливе. Для інших регулюючих клапанів, таких як клапани регулювання тиску, може бути потрібне повторне настроювання. Перевіряється, щоб діапазон налаштування клапана та максимальний робочий тиск системи залишалися в обумовлених межах із новим холодоагентом.

Трубопроводи: перевіряються розміри трубопроводу. Новий холодоагент може мати іншу щільність та значення ентальпії (тепломісткості).

Це призводить до зміни швидкостей та падіння тиску при збереженні існуючого трубопроводу. Критичними точками може бути лінія всмоктування та лінія повернення оливи.

Регулятор: перевіряється налаштування контролера. Налаштування контролера перегріву повинне забезпечувати підтримання параметра з новим типом холодоагенту. Можливо, також потрібно буде змінити інші задані значення температури або тиску установки.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. За останні роки на прикладі торгового холодильного обладнання і ПРХ вкотре проявився закон діалектики: “усталена система через руйнування відтворюється на новому витку”. Будь-яка усталена система створює ілюзію можливості вічного збереження стабільності, досягнутої без додаткових зусиль. Настає момент межі стабільності – відсутність заходів, витрат розвитку, модернізації, і система починає руйнуватися по ланцюжку, ланка за ланкою.

Прикладом такого явища може бути якість продукції харчового призначення, ПРХ і, зокрема, торговельне холодильне устаткування. Неминучо є руйнація старої версії якості та необхідність відтворення нової в інших економічних умовах. Йдеться про найважливішу ланку в системі – якість продукції та експлуатації, що забезпечується і виробничими ремонтно-сервісними підприємствами.

З метою підвищення ефективності експлуатації холодильного обладнання індустріальних холодильників для заморожування продуктів харчування, їх технічного сервісу та ремонту необхідно створити методіку у вигляді моделей причинно-наслідкових зв'язків складної технічної системи з підтримкою апарату нечіткої логіки для оцінки стану обладнання та методів прийняття рішення за оцінкою стану оснащення промислового холодильника.

Вирішення вказаних завдань проводиться на основі розробки нових конструктивних рішень. Підвищення технічного рівня холодильного обладнання вітчизняного виробництва до рівня світових зразків вимагає розробки та впровадження прогресивної технології виробництва, докорінного переоснащення підприємств.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2015 рік. URL: http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2015/Glava_2.pdf.

2. Кальм Д. М. Безпека холодильних систем. *ASHRAE Journal*. Липень 1994. С. 17-26.

3. Сухенко В. Ю., Сухенко Ю. Г., Муштрук М. М. Показники надійності обладнання харчових виробництв. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2016. № 4. С. 12-16.

4. Остапенко О. В., Зімін О. В., Подмазко І. О., Хмельнюк М. Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості. *Холодильна техніка та технологія*. 2016. № 52 (6). С. 4-10.

5. Подмазко І. О. Підвищення ефективності роботи холодильного устаткування при термообробці харчових продуктів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.14 “Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування” / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : ОНАХТ, 2013. 20 с.

6. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко, В. І. Павелко, А. В. Форсюк та ін.; за заг. ред. С. М. Василенко. К. : Ліра-К, 2019. 258 с.

7. Тітлов О. С., Горикін С. Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Львів : Новий світ 2000, 2011. 286 с.

8. Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання : підручник. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2014. 484 с.

9. Bukaros A. Yu., Onyshchenko O. A., Montik P. N., Malyshev V. L., Bukaros V. N. Modernization of Luenberger observer for control system of hermetic compressor electric drive. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2019. № 1. С. 230-237.

10. Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. *Modern Control Systems*. Pearson, 2016. 1032 p.

11. <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/low-gwp-refrigerant-tool/>.

12. <https://znaytovar.ru/new2879.html>.

REFERENCES:

1. Analitychnyj ohliad stanu tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini za 2015 rik, available at: http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2015/Glava_2.pdf.

2. Kal'm, D. M. (1994), Bezpeka kholodyl'nykh system, *ASHRAE Journal*, Lypen', s. 17-26.

3. Sukhenko, V. Yu. Sukhenko, Yu. H. and Mushtрук, M. M. (2016), Pokaznyky nadijnosti obladnannia kharchovykh vyrobnytstv, *Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist'*, № 4, s. 12-16.

4. Ostapenko, O. V. Zimin, O. V. Podmazko, I. O. and Khmel'niuk, M. H. (2016), Shliakhy pidvyschennia enerhoefektyvnosti kholodyl'noi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti, *Kholodyl'na tekhnika ta tekhnolohiia*, № 52 (6), s. 4-10.

5. Podmazko, I. O. (2013), Pidvyschennia efektyvnosti roboty kholodyl'noho ustatkuvannia pry

termoobrobtsi kharchovykh produktiv : avtoref. dys. ...
kand. tekhn. nauk : spets. 05.05.14 "Kholodyl'na,
vakuumna ta kompresorna tekhnika, systemy
kondytsionuvannia" / Odes. nats. akad. kharch.
tekhnolohij, ONAKhT, Odesa, 20 s.

6. Teplokhodotekhnika : navch. posib. /
S. M. Vasylenko, V. I. Pavelko, A. V. Forsiuk ta in.; za
zah. red. S. M. Vasylenko (2019), Lira-K, K., 258 s.

7. Titlov, O. S. and Horykin, S. F. (2011), Kholodyl'ne
obladnannia pidpriemstv kharchovoi promyslovosti :
navch. posib., Novyj svit 2000, L'viv, 286 s.

8. Khmel'niuk, M. H. Podmazko, O. S. and
Podmazko, I. O. (2014), Kholodyl'ni ustanovky ta
sfery ikh vykorystannia : pidruchnyk, FOP Hrin' D. S.,
Kherson, 484 s.

9. Bukaros, A. Yu. Onyshchenko, O. A. Montik,
P. N. Malyshev, V. L. and Bukaros, V. N. (2019),
Modernization of Luenberger observer for control
system of hermetic compressor electric drive,
Radioelektronika, informatyka, upravlinnia, № 1,
s. 230-237.

10. Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. (2016),
Modern Control Systems. Pearson, 1032 p.

11. <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/low-gwp-refrigerant-tool/>.

12. <https://znaytovar.ru/new2879.html>.

*Стаття надійшла до редакції 14 квітня
2023 року*

УДК 619:614.31:637.1.05/.06

Приліпко Т. М.,

vtl280726p@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8178-207X

*д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри харчових технологій виробництва
й стандартизації харчових продуктів,*

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Камянець-Подільський

ГОЛОВНІ ЗАСАДИ НОРМАТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ У ПРОЦЕСІ ТОВАРООБИГУ

Анотація. Програми моніторингу базуються на засадах таких європейських документів як Регулювання ЄС № 178/2002 та № 882/2004, Директиви Ради 86/363/ЄЕС, положеннях Рекомендації Комісії ЄС № 2006/26, що передбачають координацію його програм, спрямованих на встановлення відповідності до максимально-допустимих рівнів (МДР) сільськогосподарської продукції. Нині для європейських країн надто актуальним є питання щодо організації, впровадження та контролю інтегрованих багаторічних планів моніторингу, розроблених відповідно до вимог Регулювання Парламенту та Ради ЄС № 882/2004. Принципи відслідковування (відстеження) продуктів, як інструменту у системі контролювання та сертифікації харчових продуктів, регламентовані вимогами CAC/GL 60–2006. Ключовими елементами системи простежуваності є: ексклюзивний список постачальників; прийняття інформації на вході та ведення обліку (постачальник, код партії постачальника, код партії оператора); розділення партій під час обробки та зберігання, коли змінюються партії надходження сировини (пакетне кодування кінцевого продукту); відправка супровідних записів (вантажоодержувач, код партії постачальника; зберігання записів та повернення (мінімальний період). Встановлено, що масова частка плумбуму в досліджуваних зразках рибної продукції, яка поступала на ринок м. Чернівців з Дністровського району становила 0,131 мг/кг (норма – 1,0 мг/кг), кадмію – 0,030 мг/кг (0,2 мг/кг), арсену – 0,97 мг/кг (5,0 мг/кг), ртуті – 0,011 мг/кг (0,5 мг/кг). Уміст ГХЦГ α -ізомерів – < 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг), ГХЦГ β -ізомерів – < 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг), ГХЦГ γ -ізомерів – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг); 4,4-ДДТ – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг) 4,4-ДДЕ – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг); 4,4-ДДД – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг). Деяко нижчими вказані показники були в рибній продукції яка поступала з Вишницького району Чернівецької області. Кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) склала 30x10³ КУО/г (норма – 1x10⁵ КУО/г), БГКП (колі-форми) в 0,001 г, патогенних мікроорганізмів (у тому числі сальмонел, *Listeria monocytogenes* у 25 г та *Staphylococcus aureus* у 0,01 г – не виділено. Уміст радіонуклідів Cs137 становив < 6,7 Бк/кг за норми не більше 130 Бк/кг, Sr90 – < 4,2 Бк/кг (норма – не більше 100 Бк/кг).

Ключові слова: моніторинг, простежування, рибна продукція, харчові продукти, ксенобіотики.

Приліпко Т. М.,

vtl280726p@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8178-207X

*Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Food Technologies
of Food Production and Standardization,*

Higher education institution «Podolsk State University», Kamianets-Podilskyi

MAIN PRINCIPLES OF REGULATORY REGULATION OF THE SAFETY OF FISH PRODUCTS IN THE TRADE PROCESS

Abstract. Monitoring programs are based on the principles of such European documents as EU Regulation No. 178/2002 and No. 882/2004, Council Directive 86/363/EEC, provisions of the EC Commission Recommendation No. 2006/26, which provide for the coordination of its programs aimed at establishing compliance with the maximum – acceptable levels (MDR) of agricultural products. Currently, for European countries, the issue of organization, implementation and control of integrated multi-year monitoring plans developed in accordance with the requirements of Regulation of the Parliament and the Council of the EU No. 882/2004 is extremely relevant. The principles of tracking (tracking) products as a tool in the system of control and certification of food products are regulated by the requirements of CAC/GL 60–2006. The key

*elements of the traceability system are: an exclusive list of suppliers; accepting information at the entrance and keeping records (supplier, supplier batch code, operator batch code); separation of batches during processing and storage when batches of incoming raw materials change (batch coding of the final product); sending accompanying records (consignee, supplier batch code; storage of records and return (minimum period)). It was established that the mass fraction of lead in the investigated samples of fish products that entered the market of Chernivtsi from the Dnistrovsky district was 0.131 mg/kg (norm – 1.0 mg/kg), cadmium – 0.030 mg/kg (0.2 mg/kg), arsenic – 0.97 mg/kg (5.0 mg/kg), mercury – 0.011 mg/kg (0.5 mg/kg). The content of HCCG α -isomers – < 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg), HCCG β -isomers – < 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg), HCCG γ -isomers – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg); 4,4-DDT – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg) 4,4-DDE – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg); 4,4-DDD – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg). The indicated indicators were somewhat lower in fish products that came from the Vyzhnytsky district of the Chernivtsi region. The number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (KMAFAnM) was 30×10^3 CFU/g (norm – 1×10^5 CFU/g), BGCP (coli-forms) in 0.001 g, pathogenic microorganisms (including salmonella), *Listeria monocytogenes* in 25 g and *Staphylococcus aureus* in 0.01 g – not isolated. The content of radionuclides Cs137 was < 6.7 Bq/kg for the norm of no more than 130 Bq/kg, Sr90 – < 4.2 Bq/kg (the norm is no more than 100 Bq/kg).*

Key words: monitoring, tracing, fish products, food products, xenobiotics.

JEL Classification: L 66

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-07

Постановка проблеми. Безпечність продуктів харчування є пріоритетом на всіх стадіях харчового ланцюга – «від лану – до столу». Згідно з Законом України «Про безпечність та якість харчових продуктів», відповідальність за безпечність продуктів тваринного походження несуть виробники та компанії харчового ланцюга [6,7].

Рівень розвитку суспільства та усвідомлення проблем харчування перетворили безпеку харчових продуктів у міжнародну проблему. ВООЗ та інші міжнародні структури тривалий час детально займаються цими питаннями.

Сьогодні і в нашій державі проводиться моніторинг щодо вмісту різних токсикантів у харчовій продукції. Контроль та нагляд за продуктами тваринного походження забезпечує безпечність усіх харчових продуктів під час їх виробництва, транспортування, зберігання, переробки та обігу, придатність до споживання, відповідність вимогам щодо показників їх безпеки та якості [9], гарантує дотримання правил маркування згідно з ДСТУ 4518–2008 «Продукти харчові. Маркування для споживачів», що набув чинності в Україні з 01.11. 2008 р. і регламентує чіткі вимоги щодо упакування та маркування продукції [2].

Програмою державного моніторингу визначені групи забруднювачів, які підлягають контролю. До числа небезпечних токсикантів, які здатні накопичуватися у харчових продуктах, відносять пестициди, радіонукліди, важкі метали та ін. Контролюючі органи повинні повною мірою виконувати покладені на них завдання щодо забезпечення безпеки та зни-

ження ризиків, пов'язаних із споживанням харчових продуктів [1].

Контроль за продуктами харчування – обов'язкова регулятивна дія, що здійснюється в процесі забезпечення виконання законів та інших нормативних актів щодо продуктів харчування державними або місцевими органами влади з метою захисту прав споживачів [8].

Безпека харчової продукції і продовольчої сировини є однією з вирішальних складових економічної та соціальної безпеки кожної держави й визначається спроможністю країни ефективно контролювати виробництво й ввезення безпечного та якісного продовольства на загальновизнаних у світі засадах. Головні засади регулювання безпечності та якості містяться в Законі України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», Регламенті (ЄС) Європейського парламенту і Ради № 178/2002, в яких висвітлено загальні принципи та вимоги правових норм у галузі харчових продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що в навколишньому середовищі є близько 6 млн. хімічних сполук, 90% з яких – синтетичного походження. Переважна більшість з них є ксенобіотиками [9].

Надходження ксенобіотиків у навколишнє середовище пов'язане передусім з антропогенним навантаженням на екосистеми – збільшенням об'ємів промислового виробництва, застосуванням екологічно небезпечних технологій у виробництві, накопиченням небезпечних токсичних відходів, хімізацією сільського господар-

ства тощо. У навколишньому середовищі ксенобіотики піддаються процесам перетворення, в результаті яких змінюються їх фізико-хімічні властивості, міграційна здатність, токсичність для живих організмів. В більшості випадків механізми саморегуляції екосистем виявляються недостатніми для повної трансформації токсичних речовин до нетоксичних сполук, що має негативні екологічні наслідки [7].

Трансформація ксенобіотиків у навколишньому середовищі значною мірою ускладнює екологічне нормування різних забруднюючих речовин. Негативний вплив ксенобіотиків на живі організми обумовлений як безпосередньою токсичною дією, так і акумуляцією їх на різних ланках трофічного ланцюга, внаслідок чого різко зростає концентрація небезпечних речовин у живих організмах [3, 6]. Ксенобіотики здатні уражати практично всі системи організму: серцево-судинну, нервову, видільну, дихальну, репродуктивну, шлунково-кишковий тракт та органи кровотворення. Серед ксенобіотиків є речовини, здатні інгібувати синтез ДНК та РНК, та такі, що володіють мутагенними, тератогенними та канцерогенними властивостями [8].

Постановка завдання. Мета – вивчення головних засад регулювання безпечності і товаропродування рибної продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Простежуваність сприяє отриманню інформації про придатність, історію та джерело походження харчових продуктів і не робить їх безпечними, але є інструментом управління, що дозволяє забезпечити безпечність й дає змогу вживати заходи, якщо сировина чи продукція виявиться небезпечною (наприклад, вилучення або відкликання) [8].

Стандартами простежуваності продукції рибного промислу та аквакультури є: три стандарти, розроблені Норвезьким інститутом рибного господарства і аквакультури на підставі консенсусу для реєстрації та обміну інформацією про простежуваність у мережі морепродуктів (стандарт вирощеної риби в аквакультурі, стандарт виловленої риби і технічний стандарт); *CEN(EKC) TraceFood (TraceCore XML* – електронний обмін даними про простежуваність) [7].

Мета простежуваності – визначання відповідальних організацій у харчових ланцюгах, підтримування цілей безпечності та/або якості продукції рибного промислу та аквакультури, відповідність технічним умовам замовника, установлення їх походження або джерела, сприяння

перевірянню конкретної інформації стосовно продукції, надання інформації відповідним зацікавленим учасникам і замовникам, дотримання будь-яких місцевих регіональних, національних або міжнародних законодавчих чи нормативних документів, коли доречно – поліпшення ефективності, продуктивності та прибутковості організації, сприяння вилученню або відкликанню продукції [9].

Згідно з Директивою 96/23 від 29.04. 1996 р. щодо заходів контролю окремих речовин та їх залишкових кількостей у живих тваринах та продуктах тваринного походження, важливою частиною контролю якості та безпеки продуктів харчування для переважної більшості країн ЄС є моніторинг залишкової кількості ксенобіотиків в об'єктах зовнішнього середовища (грунт, вода, сільськогосподарська продукція). За його результатами встановлюють допустимі рівні та періодичність виявлення залишків контамінантів. Такий аналіз дає можливість уносити зміни в політику експорту та імпорту харчових продуктів. Програми моніторингу базуються на засадах таких європейських документів як Регулювання ЄС № 178/2002 та № 882/2004, Директиви Ради 86/363/ЄЕС, положеннях Рекомендацій Комісії ЄС № 2006/26, що передбачають координацію його програм, спрямованих на встановлення відповідності до максимально-допустимих рівнів (МДР) сільськогосподарської продукції. Нині для європейських країн надто актуальним є питання щодо організації, впровадження та контролю інтегрованих багаторічних планів моніторингу, розроблених відповідно до вимог Регулювання Парламенту та Ради ЄС № 882/2004 [5, 7].

За імплементації системи простежування передбачається можливість на будь-якому визначеному етапі харчового ланцюга від виробництва до реалізації ідентифікувати походження сировини і місце її переробки, відповідно до цілей інспекції та сертифікації продуктів рибного промислу і аквакультури, Передбачена відповідальність певного оператора ринку на кожному етапі харчового ланцюга [56].

Принципи відслідковування (відстеження) продуктів, як інструменту у системі контролювання та сертифікації харчових продуктів, регламентовані вимогами САС/GL 60–2006. Ключовими елементами системи простежуваності є: ексклюзивний список постачальників; прийняття інформації на вході та ведення обліку (постачальник, код партії постачальника, код партії опера-

Вміст ксенобіотиків у партії рибної продукції

Показники	Фактичний вміст		Норма
	Риба із районів Чернівецької області		
	Дністровський	Вижницький	
Плюмбум	0,131 ±0,06	0,128±0,02	1,0
Кадмій	0,030 ±1,4	0,025±1,7	0,2
Арсен	0,97 ±1,3	0,89±1,4	5,0
Меркурій	0,011 ±0,2	0,009 ±0,6	0,5
ГХЦГ α-ізомери	0,001 ±0,04	0,010 ±0,02	0,2
4,4-ДДД	0,001±0,2	0,002±0,4	0,2
4,4-ДДТ	0,001 ±0,2	0,001 ±0,2	0,2
4,4-ДДЕ	0,001 ±0,1	0,010 ±0,1	0,2

тора); розділення партій під час обробки та зберігання, коли змінюються партії надходження сировини (пакетне кодування кінцевого продукту); відправка супровідних записів (вантажодержувач, код партії постачальника; зберігання записів та повернення (мінімальний період).

Стосовно будь-якої партії рибного промислу та аквакультури оператор повинен забезпечити процес управління і ведення обліку для зберігання, наскільки це практично можливо, цілісності інформації, переданої оператору постачальником рибопродуктів; передавання інформації про відправлення партії вантажодержувачу, що в подальшому дозволяє оператору визначити постачальника та будь-яку інформацію про простежуваність, передану оператору постачальником.

Метою роботи було визначити вміст деяких забруднювальних речовин хімічного (важкі метали, пестициди, радіонукліди) і біологічного (мікробіологічні показники) походження у живій товарній рибі та порівняти одержані показники з вимогами чинних вітчизняних документів. Матеріалом для дослідження була жива товарна риба (карась, короп, товстолоб), вирощена в різних приватних рибницьких підприємствах Чернівецької області, яка надходила для реалізації на агропродовольчі ринки м. Чернівці. Результати досліджень вмісту токсичних елементів показали, що у досліджених пробах риби більше містилось арсену, менше плюмбуму, кадмію та меркурію.

Установлено [8], що масова частка плюмбуму в досліджуваних зразках рибної продукції, яка поступала на ринок м. Чернівців з Дністровського району становила 0,131 мг/кг (норма – 1,0 мг/кг), кадмію – 0,030 мг/кг (0,2 мг/кг), арсену – 0,97 мг/кг (5,0 мг/кг), меркурію – 0,011 мг/кг (0,5 мг/кг). Уміст ГХЦГ α-ізомерів – < 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг),

ГХЦГ β-ізомерів – < 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг), ГХЦГ γ-ізомерів – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг); 4,4-ДДТ – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг) 4,4-ДДЕ – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг); 4,4-ДДД – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг).

Деяко нижчими вказані показники були в рибній продукції яка поступала з Вижницького району Чернівецької області.

Кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) склала 30x10³ КУО/г (норма – 1x10⁵ КУО/г), БГКП (колі-форми) в 0,001 г, патогенних мікроорганізмів (у тому числі сальмонел), *Listeria monocytogenes* у 25 г та *Staphylococcus aureus* у 0,01 г – не виділено. Уміст радіонуклідів Cs137 становив < 6,7 Бк/кг за норми не більше 130 Бк/кг, Sr90 – < 4,2 Бк/кг (норма – не більше 100 Бк/кг) [9].

Висновки. Простежуваність продукції сприяє отриманню інформації про придатність, історію та джерело походження харчових продуктів і не робить їх безпечними, але є інструментом управління, що дозволяє забезпечити безпечність й дає змогу вживати заходи, якщо сировина чи продукція виявиться небезпечною (наприклад, вилучення або відкликання).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи: ДСТУ ISO 14020:2003 (ISO 14020:2000, IDT). К., Держспоживстандарт України, 2003. 7 с.
2. Екологічні маркування та декларації. Екологічні самодекларації (екологічне маркування типу II): ДСТУ ISO 14021:2002 (ISO 14021:1999, IDT). К., Держспоживстандарт України. 2002. 8 с.
3. Касянчук В.В. Сучасні міжнародні вимоги щодо безпеки харчових продуктів. *Ветеринарна медицина України*. 3 5. 2000. С. 18–19.
4. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги: ДСТУ 4161–2003. К., Держспоживстандарт України, 2003. 13 с.

5. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга: ДСТУ ISO 22000:2007 (ISO 22000:2005, IDT). К., Держспоживстандарт України, 2007. 30 с.

6. Хіцька О.А. Ризик-орієнтована система контролю безпечності харчових продуктів: аналіз міжнародного та національного законодавства. *Збірник наукових праць Харківської державної зооветеринарної академії Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. Ветеринарні науки*. Харків. Вип. 35. Ч. 2, Т. 3. 2018. С. 102–106.

7. Яценко І.В., Бондаревський М.М., Кам'янський В.В., Білик Р.І., Бібен І.А., Головка Н.П., Сененко Є.О. Міжнародні вимоги до безпечності та якості харчових продуктів та перспективи запровадження їх в Україні. *Збірник наук. праць Харківської державної зооветеринарної академії. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини. Ветеринарні науки*. Харків. Вип. 25. Ч. 2. 2012. С. 241–254.

8. Prylipko, T.M., Prylipko, I.V. Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects*. Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016. 2016. S.85-89.

9. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. *International Journal of Agricultural Extension*. Special Issue (02) 2021. p.83-91.

REFERENCES:

1. Ekolohichni markuvannia ta deklaratsii. Zahalni pryntsyipy (2003): DSTU ISO 14020:2003 (ISO 14020:2000, IDT). К., Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 7 s.

2. Ekolohichni markuvannia ta deklaratsii. Ekolohichni samodeklaratsii (ekolohichne markuvannia typu II) (2002): DSTU ISO 14021:2002 (ISO 14021:1999, IDT). К., Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 8 s.

3. Kasianchuk V.V. (2000). Suchasni mizhnarodni vymohy shchodo bezpeky kharchovykh produktiv. *Veterynarna medytsyna Ukrainy*. 3 5. S. 18–19.

4. Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy (2003): DSTU 4161–2003. К., Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 13 s.

5. Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv. Vymohy do bud-yakykh orhanizatsii kharchovoho lantsiuha (2007): DSTU ISO 22000:2007 (ISO 22000:2005, IDT). К., Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 30 s.

6. Khitska O.A. (2018). Ryzhkyk-oriientovana sistema kontroiu bezpechnosti kharchovykh produktiv: analiz mizhnarodnoho ta natsionalnoho zakonodavstva. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoi derzhavnoi zooveterynarnoi akademii Problemy zooinzhenierii ta veterynarnoi medytsyny. Veterynarni nauky*. Kharkiv. Vyp. 35. Ch. 2, T. 3. S. 102–106.

7. Iatsenko I.V., Bondarevskiy M.M., Kamianskyi V.V., Bilyk R.I., Biben I.A., Holovko N.P., Senenko Ye.O. (2012). Mizhnarodni vymohy do bezpechnosti ta yakosti kharchovykh produktiv ta perspektyvy zaprovadzhennia yikh v Ukraini. *Zbirnyk nauk. prats Kharkivskoi derzhavnoi zooveterynarnoi akademii. Problemy zooinzhenernoї ta veterynarnoi medytsyny. Veterynarni nauky*. Kharkiv. Vyp. 25. Ch. 2. 2012. S. 241–254.

8. Prylipko, T.M., Prylipko, I.V. (2016). Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety. *Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects*. Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016. S.85-89.

9. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. (2021). Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. *International Journal of Agricultural Extension*. Special Issue (02) 2021. p.83-91.

Стаття надійшла до редакції 31 травня 2023 року

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРТИЗИ, РЕГУЛЮВАННЯ ТА БЕЗПЕКИ ГОСПОДАРСЬКИХ СИСТЕМ

УДК 339.5 : 684; 657:339.56

Бодак М. П.,

bodakmp@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1130-4312,

Researcher ID: F-2588-2019,

*к.т.н., доц., доцент кафедри товарознавства, митної справи та управління якістю,
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

Гирка О. І.,

lyolya110382@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4218-4034,

Researcher ID: F-7310-2019,

*к.т.н., доц., доцент кафедри товарознавства, митної справи та управління якістю,
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

Філь М. І.,

merifil.ua@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7537-7182,

Research Gate: <https://www.researchgate.net/profile/Mariia-Fil>,

к.т.н., доц., доцент кафедри туризму,

Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів

МІЖНАРОДНА ВЗАЄМОДІЯ З ПИТАНЬ ЕКСПОРТНО-ІМПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ

Анотація. У статті охарактеризовано та розкрито питання формування міжнародного торговельного середовища, проаналізовано механізм здійснення експортно-імпортних операцій у межах міжнародної взаємодії світових економічних та митних структур. Зовнішньоекономічна діяльність спрямована на забезпечення економічної безпеки держави та базується на принципах дотримання прав і свобод усіх учасників ринкових відносин. Прагнення України стати повноправним та вагомим гравцем на світовому ринку товарів і послуг вимагає приведення вітчизняної нормативно-правової та економічної компоненти до міжнародних вимог. Окрім правових аспектів забезпечення міжнародного торговельного співробітництва, важливим є і питання обліку фінансової діяльності. Дослідження розвитку експортно-імпортних операцій суб'єктів господарювання говорить про недосконалість системного підходу до організаційно-методичного забезпечення їх обліку й аналізу, що призводить до серйозних порушень валютного, податкового та митного законодавства. Інтеграція України у світове торговельне співтовариство не можлива без участі в міжнародних торгових, митних та інших організаціях. Основними з них є: Світова організація торгівлі – єдина міжнародна організація, що опікується глобальними правилами торгівлі між країнами; Всесвітня митна організація, яка встановлює, підтримує та впроваджує міжнародні інструменти для гармонізації та єдиного застосування спрощених та ефективних митних систем та процедур; Європейське бюро з питань боротьби з шахрайством та ряд інших об'єднань. Необхідною умовою переміщення товару через митний кордон є виконання процедур із декларування товару на митниці, встановлених Митним кодексом України. Бажання України до повноправного входження у Європейський Союз передбачає імплементацію митного законодавства ЄС, яка ведеться за сприяння Програми ЄС з підтримки управління державними фінансами (EU4PFM). Війна зумовила необхідність спростити митне оформлення багатьох груп товарів, переміщення яких через митний кордон дає змогу не тільки забезпечити сили оборони військовим спорядженням та додатковим захисним, але й надати цивільним особам продукти харчування, ліки та гуманітарну допомогу. Також війна з ерефією вплинула і на особливості розрахунків в імпорتنних/експортних операціях.

Ключові слова: експортно-імпортні операції, міжнародна взаємодія, митне оформлення, імплементація митного законодавства.

Bodak M. P.,

bodakmp@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1130-4312,

Researcher ID: F-2588-2019,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity Science, Customs Business and Quality Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Gyrka O. I.,

lyolya110382@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4218-4034,

Researcher ID: F-7310-2019,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity Science, Customs Business and Quality Management, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

Fil M. I.,

merifil.ua@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7537-7182, Research Gate: <https://www.researchgate.net/profile/Mariia-Fil>,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tourism, Ivan Franko National University of Lviv, Lviv

INTERNATIONAL INTERACTION IN ISSUES OF EXPORT AND IMPORT TRANSACTIONS

Abstract. *The article describes and discloses the issue formation international trade environment, analyzes the mechanism of export-import transactions within the framework international cooperation world economic and customs structures. Foreign economic activity is aimed at ensuring economic security state and is based on the principles observing the rights and freedoms all participants in market relations. Ukraine's desire to become a full-fledged and significant player in the world market of goods and services requires bringing the domestic legal and economic components to international requirements. In addition to the legal aspects of ensuring international trade cooperation, the issue of accounting for financial activity is also important. The study development export-import operations of business entities indicates the imperfection systematic approach to the organizational and methodological support their accounting and analysis, which leads to serious violations currency, tax and customs legislation. Integration of Ukraine into the world trade community is not possible without participation in international trade, customs and other organizations. The main ones are the World Trade Organization – the only international organization that takes care global rules trade between countries; The World Customs Organization, which establishes, supports and implements international instruments for the harmonization and uniform application simplified and efficient customs systems and procedures; European Anti-Fraud Office and a number of other associations. A necessary condition for the movement goods across the customs border is the fulfillment procedures for declaring the goods at customs established by the Customs Code of Ukraine. Ukraine's desire to fully join the European Union requires the implementation EU customs legislation, which is supported by the EU Public Finance Management Support Program (EU4PFM). The war made it necessary to simplify the customs clearance many groups goods, the movement of which across the customs border makes it possible not only to provide the defense forces with military equipment and additional protective equipment, but also to provide civilians with food, medicine and humanitarian aid. Also, the war with russia affected the peculiarities calculations in import / export operations.*

Key words: export-import operations, international interaction, customs clearance, implementation of customs legislation.

JEL Classification: L66

DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-08

Постановка проблеми. Зовнішньоекономічна діяльність – це діяльність суб'єктів господарської діяльності України та іноземних суб'єктів

господарювання, а також діяльність державних замовників із оборонного замовлення у випадках, визначених законами України, побудована на

взаємовідносинах між ними, що має місце як на території України, так і за її межами [1].

Отже, акцентується увага на першочерговості відстоювання національних інтересів у зовнішньоекономічній діяльності. Тому цей принцип повинен поширюватися на законодавчо-нормативні акти, що регулюють зовнішньоекономічні операції, зокрема і експортно-імпортні, українських суб'єктів господарської діяльності.

Звичайно, зовнішньоекономічна діяльність спрямована на забезпечення економічної безпеки держави, але сучасний стан світової торгівлі базується на принципах дотримання прав і свобод усіх учасників ринкових відносин. Тому міжнародна взаємодія України з питань експортно-імпортних операцій забезпечує баланс між національними інтересами нашої держави та законами вільного ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед наукового доробку вчених, в працях яких досліджуються питання експортно-імпортних операцій, міжнародного митного права в межах міжнародної взаємодії варто виокремити роботи таких вітчизняних вчених: С. М. Перець [2], І. Г. Бережнюк [3], Н. Е. Буваєва, Г. К. Борисов, О. В. Вотченікова та ін. Окрім правових аспектів забезпечення міжнародного торговельного співробітництва, важливим є і питання обліку фінансової діяльності. Дослідження розвитку експортно-імпортних операцій суб'єктів господарювання свідчить про відсутність системного підходу до організаційно-методичного забезпечення їх обліку й аналізу, що призводить до серйозних порушень валютного, податкового та митного законодавства. Більше того, становлення зовнішньоекономічної діяльності відбувається в період реформування бухгалтерського обліку, що характеризується наявністю певних прорахунків та неузгодженостей і підвищує ризик ринкової невизначеності.

Постановка проблеми. Метою статті є аналіз експортно-імпортних операцій в межах міжнародної взаємодії світових економічних та митних структур.

Виклад основного матеріалу дослідження. Господарський Кодекс України у статті 68, говорить, що підприємство самостійно здійснює зовнішньоекономічну діяльність, яка є частиною зовнішньоекономічної діяльності України і регулюється законами України, іншими прийнятими відповідно до них нормативно-правовими актами.

Зовнішньоекономічна діяльність підприємств відіграє значну роль у розвитку економіки

України, насиченні споживчого ринку товарами належної якості, просуванні товарів вітчизняних виробників на зовнішні ринки.

Здійснювати операції, пов'язані з зовнішньоекономічною діяльністю, підприємства можуть, лише використовуючи міжнародні правила розрахунків, порядок укладання договорів, аналізуючи кон'юнктуру валютних ринків, а також володіючи нормативно-правовою базою з регулювання порядку проведення операцій в іноземній валюті на території України і за її межами.

Інтеграція України у світове торговельне співтовариство не можлива без участі в міжнародних торгових, митних та інших організаціях [4].

Світова організація торгівлі (СОТ) – єдина міжнародна організація, що опікується глобальними правилами торгівлі між країнами. Її головна функція – забезпечувати, щоб торгівля відбувалася настільки легко, передбачувано і вільно, наскільки це можливо.

Усі країни-члени СОТ приймають зобов'язання щодо виконання основних угод і юридичних документів, об'єднаних терміном “Багатосторонні торговельні угоди”. Таким чином, із правової точки зору система СОТ – це своєрідний багатосторонній пакет угод, нормами і правилами якого регулюється понад 97% усієї світової торгівлі товарами і послугами.

Україна ратифікувала Угоду про спрощення процедур торгівлі 04.11.2015, що значно поліпшило її імідж у СОТ та стало сигналом для міжнародного торговельного та інвестиційного співтовариства.

Всесвітня митна організація (ВМО) є міжурядовою міжнародною організацією, яка встановлює, підтримує та впроваджує міжнародні інструменти для гармонізації та єдиного застосування спрощених та ефективних митних систем та процедур, які керують рухом товарів, людей та транспортних засобів через митні кордони.

Держмитслужба бере активну участь у спільних операціях під егідою ВМО у сферах боротьби з контрабандою та порушеннями митних правил, захисту прав інтелектуальної власності та інших подібних заходах, а також у спільній програмі ООН та ВМО з контролю за контейнерними перевезеннями, в межах якої у 2018 році створено підрозділи портового контролю в Одеській та Київській митницях Держмитслужби.

У межах роботи, спрямованої на реалізацію Рамкових стандартів ВМО, Держмитслужбою вживаються заходи для подальшої автоматизації інформаційних митних технологій.

Так, Держмитслужба відкрила один із найочікуваніших наборів даних щодо експортно-імпортних операцій суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності у форматі відкритих даних через API. Відтепер дані митних декларацій (знеособлені) можна скачати цілком легально, і до того ж у режимі реального часу, а ще автоматизувати низку завдань щодо їх аналізу.

Також Україна є членом ще декількох міжнародних організацій з митного співробітництва. Європейське бюро з питань боротьби з шахрайством (OLAF) засноване в 1999 році з метою підвищення ефективності діяльності, спрямованої на протидію шахрайству та іншим протиправним діям. Бюро створено відповідно до Рішення Європейської Комісії (ЄК) № 1999/352/ЄС від 28 квітня 1999 року, як структурна одиниця ЄК з незалежним статусом у проведенні розслідувань, пов'язаних із шахрайством. Порядок діяльності визначається двома Регламентами (№ 1073/1999 та № 1074/1999 від 25 травня 1999 року) та міжінституційною Угодою Європейського Парламенту, Ради ЄС та ЄК.

Організація Чорноморського економічного співробітництва започаткована з підписанням 25 червня 1992 р. Стамбульської декларації, яка визначала загальні рамки діяльності цього міждержавного об'єднання.

Організація за демократію та економічний розвиток ГУАМ – регіональне об'єднання чотирьох держав: Грузії, України, Азербайджанської Республіки та Республіки Молдова. В основі утворення цієї форми співпраці лежить єдність позицій країн із подібними політичними й економічними зовнішніми орієнтаціями. Організація створена в 1997 році для протистояння впливу Росії в регіоні й отримала підтримку США.

Принцип стійкості кордону, вироблений ще Еммануелем де Мартоном, щодо молдовсько-українського кордону не діє досі, незважаючи на затвердження основного виду кордону ще за часів СРСР. Кордон сім разів перетинає залізницю Чернівці – Могилів-Подільський, двічі – автомобільну дорогу Одеса-Рені.

Ведеться робота Місії Європейської Комісії з надання допомоги у питаннях кордону Україні і Республіці Молдова (EUBAM) – консультативно-технічний орган, що повністю фінансується Європейським Союзом у межах Європейського інструменту сусідства і партнерства. Партнером із реалізації виступає Програма розвитку ООН (ПРООН).

Розроблено Конвенцію про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення CITES (the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) [1].

Необхідною умовою переміщення товару через митний кордон є виконання процедур із декларування товару на митниці, які встановлені Митним кодексом. Але бажання України до повноправного входження в Європейський Союз передбачає імплементацію митного законодавства ЄС (рис. 1) [5].

Здобутки у напрямі європейської інтеграції є результатом спільної роботи Мінфіну і Держмитслужби за сприяння Програми ЄС з підтримки управління державними фінансами (EU4PFM).

Війна зумовила необхідність спростити митне оформлення різних груп товарів, вкрай необхідних як для забезпечення сил оборони військовим спорядженням та додатковим захисним, так і для забезпечення цивільних продуктами харчування, ліками та гуманітарною допомогою.

Митне оформлення товарів та гуманітарної допомоги на період воєнного стану наведено на рис. 2 [6, 7].

Постановою КМУ від 18 березня 2022 р. № 314 “Деякі питання забезпечення провадження господарської діяльності в умовах воєнного стану” передбачено спрощення ведення господарської діяльності шляхом зменшення кількості необхідних дозвільних документів у період воєнного стану.

Проте дане спрощення не відноситься до зовнішньоекономічної діяльності, здійснення якої передбачає наявність відповідної ліцензії, зокрема для експорту певних категорій товарів.

Введення воєнного стану вплинуло на ліцензування та квотування саме експорту товарів. Постановою КМУ від 29 грудня 2021 р. № 1424 “Про затвердження переліків товарів, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню, та квот на 2022 рік” [8] врегульовано види товарів, які підлягають ліцензуванню та квотуванню для здійснення ЗЕД. Але Верховна Рада в умовах воєнного стану уже декілька разів змінювала перелік товарів, експорт яких підлягає ліцензуванню та/або квотуванню.

Якщо порядок отримання ліцензій змінився, то декларування з метою митного оформлення ліцензійних товарів у режимі експорту проводиться у довоєнному, звичайному порядку.

Відбулися і зміни у здійсненні митних формальностей щодо імпорту окремих категорій товарів. Для більшості категорій товарів порядок

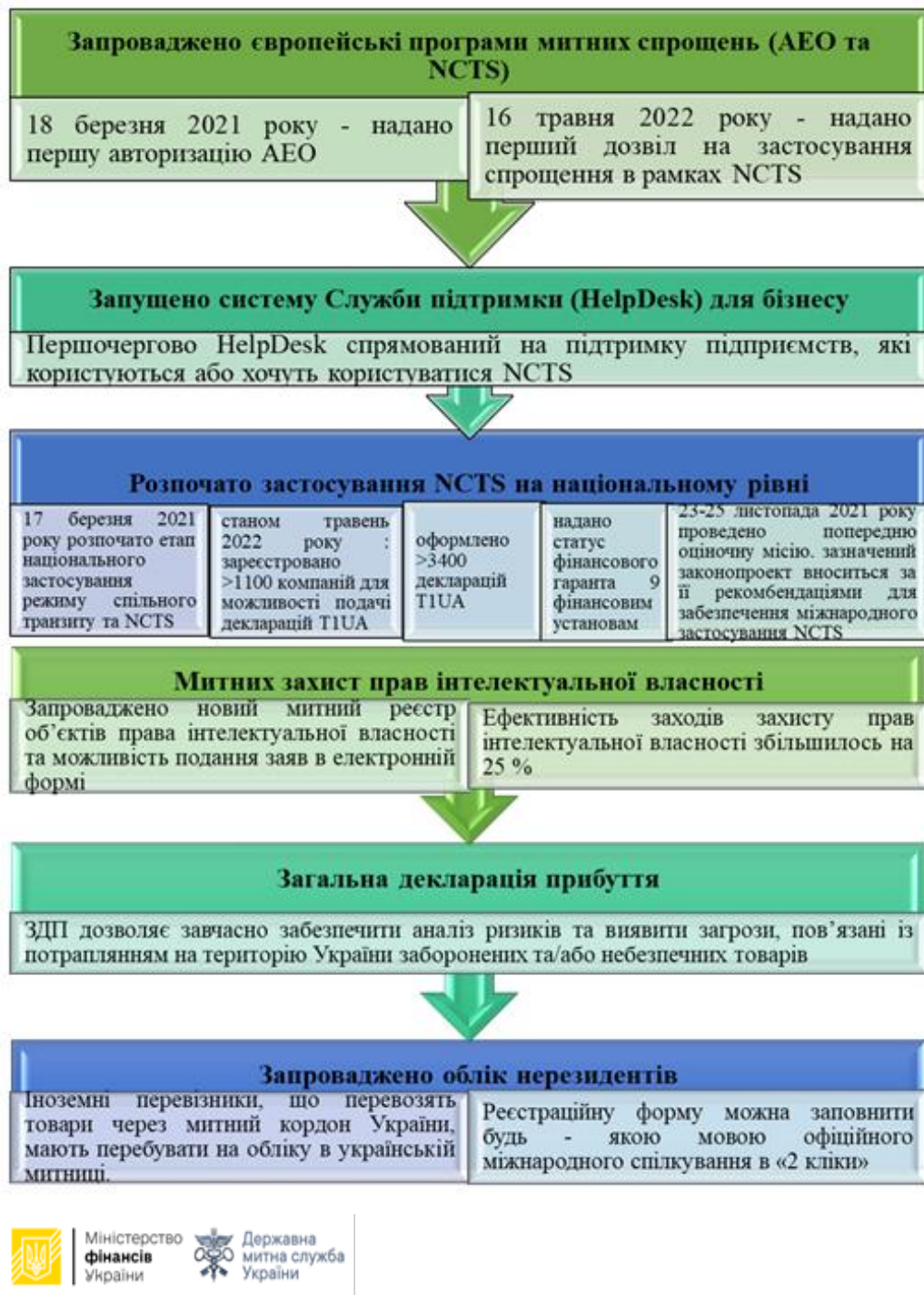


Рис. 1. Ключові результати імплементації митного законодавства ЄС

здійснення митних формальностей залишився без змін, але для окремих – Верховна Рада дещо спростила процедуру митного оформлення для товарів у режимі імпорту.

7 березня 2022 р. Кабмін прийняв постанову № 224 “Про затвердження переліку категорій товарів, що визнаються гуманітарною допомогою без здійснення процедури визнання таких товарів гуманітарною допомогою у кожному кон-

кретному випадку та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань гуманітарної допомоги” [9].

Документом також встановлено, що на період воєнного стану пропуск через митний кордон України товарів гуманітарної допомоги, які включені до переліку категорій товарів, здійснюється за місцем перетину митного кордону України шляхом подання товаросупровідних документів

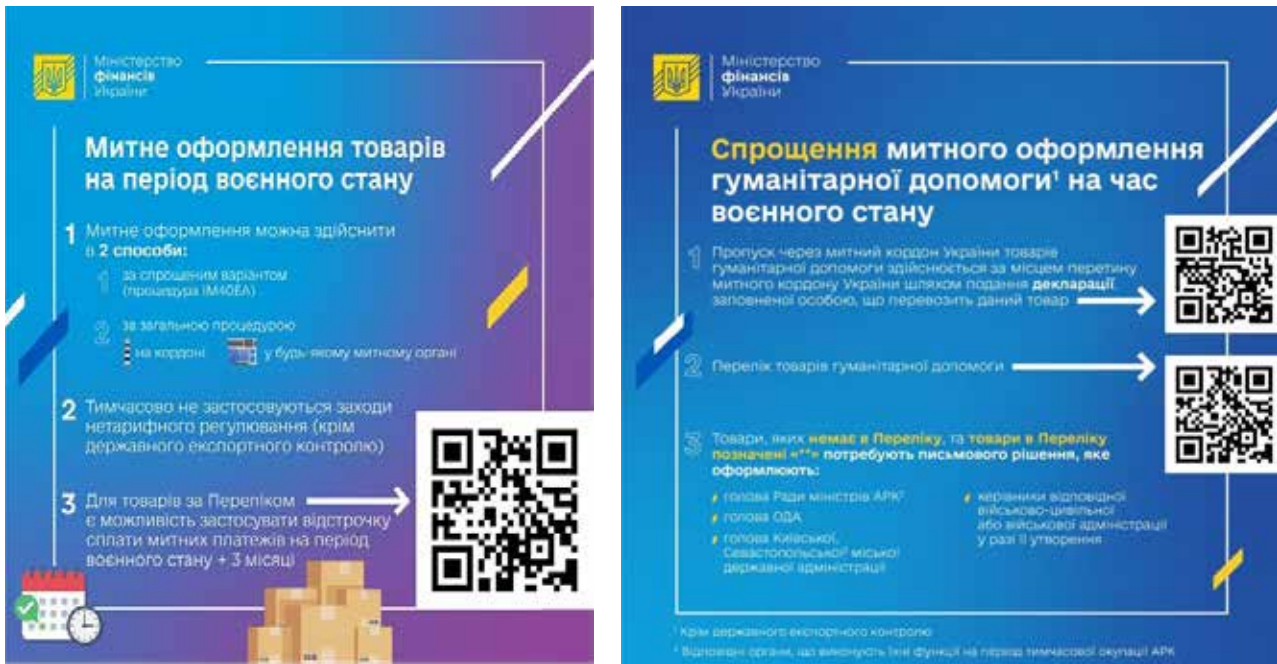


Рис. 2. Митне оформлення товарів та гуманітарної допомоги на період воєнного стану



Рис. 3. Розрахунки в імпорتنих / експортних операціях, млрд USD

або декларації, заповненої особою, що перевозить даний товар, за формою згідно з додатком, без застосування заходів нетарифного регулювання зовнішньоекономічної діяльності.

Війна з ерефією вплинула і на особливості розрахунків в імпорتنих / експортних операціях (рис. 3). З 05 квітня 2022 року НБУ значно скоротив терміни розрахунків в експортно-імпорتنих операціях із 365 днів до 90 днів (з 8 червня до 120 днів).

За даними Державної служби статистики України, у 2021 році експорт українських товарів та послуг до ЄС сягнув 26,8 млрд дол.

Обсяг імпорту 27 країн ЄС в Україну становив 28,9 млрд дол. За останні шість років обсяги експорту збільшилися більш ніж удвічі, а імпорту – на 88%. Частка країн ЄС в українському експорті за цей час зросла з 34% до майже 40% [10].

До основних товарних категорій українського експорту в ЄС належать: чорні метали – 13,5% (↓20,1%); електричні машини – 11,9% (↓4,1%); жири та олії – 9,9% (↑19,5%); зернові культури – 9,6% (↓32,0%); руди, шлаки – 7,8% (↓18,1%); насіння і плоди олійних рослин – 6,7% (↓18,5%); деревина і вироби з деревини – 5,3% (↓1,3%); меблі – 3,5% (↑15,1%).

В імпорті з ЄС до України домінують такі товарні категорії: реактори ядерні, котли, машини – 13,3% (↓6,4%); засоби наземного транспорту, крім залізничного – 11,6% (↓16,7%); електричні машини й устаткування – 8,4% (↓6,3%); фармацевтична продукція – 7,7% (↑15,2%); енергетичні матеріали – 6,9% (↓40,4%); пластмаси, полімерні матеріали – 5,7% (↑0,1%); різноманітна хімічна продукція – 3,4% (↓7,8%); папір та картон – 2,5% (↓4,1%) [10].

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Отже, зовнішньоекономічна діяльність ґрунтується на принципах балансу між національними інтересами нашої держави та законами вільного ринку. Основними міжнародними організаціями, які регламентують виконання зобов'язання щодо основних угод і юридичних документів із міжнародної торгівлі, є СОТ та ВМО. Порядок переміщення товару через митний кордон встановлюється Митним кодексом України. Проте війна зумовила необхідність спростити митне оформлення різних груп товарів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Міжнародна співпраця. URL: <https://customs.gov.ua/mizhnarodna-spivprazia>.
2. Переп'юлкін С. М. Імплементация принципів, норм і стандартів міжнародного митного права: індивідуальний та спільний рівні. *Науково-інформаційний вісник Івано-Франківського університету права імені Короля Данила Галицького*. Серія : Право. 2021. № 12. С. 102-111. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nivif_2021_12_14.
3. Концептуалізація оцінювання митних процедур в умовах актуалізації зовнішньоекономічної діяльності : монографія / за заг. ред. І. Г. Бережнюка. Хмельницький : ПП Мельник А.А., 2015. 196 с.
4. Інститут митної вартості імпортованих товарів в Україні: актуальні питання та вектори розвитку [Текст] : кол. моногр. / за заг. ред. І. Г. Бережнюка; упорядники: Л. Р. Прус, Т. В. Руда. Хмельницький : ФОП Мельник А.А., 2017. 430 с.
5. Уряд прийняв постанову про митне оформлення окремих товарів, що ввозяться на митну територію України у період дії воєнного стану. URL: <https://ibuhgalter.net/news/16891>.
6. Митне оформлення в умовах воєнного стану. URL: <https://customs.gov.ua/mitne-oformlennia-gumanitarnoyi-dopomogi-v-umovakh-voienno-go-stanu>.
7. Зміни до митного кодексу України для міжнародного застосування NCTS та розширення імплементції положень митного законодавства ЄС. URL: [https://www.mof.gov.ua/storage/](https://www.mof.gov.ua/storage/files/%D0%97%D0%9F%20zminy%20Mytny%20Kodex_28_05_2022.pdf)

[files/%D0%97%D0%9F%20zminy%20Mytny%20Kodex_28_05_2022.pdf](https://www.mof.gov.ua/storage/files/%D0%97%D0%9F%20zminy%20Mytny%20Kodex_28_05_2022.pdf).

8. Про затвердження переліків товарів, експорт та імпорт яких підлягає ліцензуванню, та квот на 2022 рік. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1424-2021-%D0%BF#Text>.

9. Про затвердження переліку категорій товарів, що визнаються гуманітарною допомогою без здійснення процедури визнання таких товарів гуманітарною допомогою у кожному конкретному випадку, на період воєнного стану та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань гуманітарної допомоги. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/224-2022-%D0%BF#Text>.

10. ЄС скасує всі торговельні обмеження для України. Хто від цього може виграти? URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/05/2/686503/>.

11. Бюлетень стану торговельних відносин між Україною та ЄС у 2021 році. URL: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&isSpecial=True&id=6b2412a2-219c-4aa9-b4ef-87f9690e520f&title=BiuletynPotocznegoStanuTorgovelnikhVidnosinMizhUkrainoiuTas>.

REFERENCES:

1. Mizhnarodna spivpratsia, available at: <https://customs.gov.ua/mizhnarodna-spivprazia>.
2. Perep'olkin, S. M. (2021), Implementatsiia pryntsyviv, norm i standartiv mizhnarodnoho mytnoho prava: indyvidual'nyj ta spil'nyj rivni. *Naukovo-informatsijnyj visnyk Ivano-Frankivs'koho universytetu prava imeni Korolia Danyla Halys'koho*. Seria : Pravo., № 12, s. 102-111, available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nivif_2021_12_14.
3. Kontseptualizatsiia otsiniuvannia mytnykh protsedur v umovakh aktualizatsii zovnish'oeconomichnoi diial'nosti : monohrafiia / za zah. red. I. H. Berezniuka (2015), PP Mel'nyk A.A., Khmel'nyts'kyj, 196 s.
4. Instytut mytnoi vartosti importnykh tovariv v Ukraini: aktual'ni pytannia ta vektory rozvytku [Tekst] : kol. monohr. / za zah. red. I. H. Berezniuka; uporiadnyky: L. R. Prus, T. V. Ruda (2017), FOP Mel'nyk A.A., Khmel'nyts'kyj, 430 s.
5. Uriad pryjniav postanovu pro mytne oformlennia okremykh tovariv, scho vvoziat'sia na mytnu terytoriiu Ukrainy u period dii voiennoho stanu, available at: <https://ibuhgalter.net/news/16891>.
6. Mytne oformlennia v umovakh voiennoho stanu, available at: <https://customs.gov.ua/mitne-oformlennia-gumanitarnoyi-dopomogi-v-umovakh-voienno-go-stanu>.
7. Zminy do mytnoho kodeksu Ukrainy dlia mizhnarodnoho zastosuvannia NCTS ta rozshyrennia implementatsii polozhen' mytnoho zakonodavstva YeS, available at: [https://www.mof.gov.ua/storage/](https://www.mof.gov.ua/storage/files/%D0%97%D0%9F%20zminy%20Mytny%20Kodex_28_05_2022.pdf)

8. Pro zatverdzhennia perelikiv tovariv, eksport ta import iakykh pidliahaie litsenzuvanniu, ta kvot na 2022 rik, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1424-2021-%D0%BF#Text>.

9. Pro zatverdzhennia pereliku katehorij tovariv, scho vyznaiut'sia humanitarnoiu dopomohoiu bez zdijsnennia protsedury vyznannia takykh tovariv humanitarnoiu dopomohoiu u kozhnomu konkretnomu vypadku, na period voiennoho stanu ta vnesennia zmin do deiakykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy z pytan' humanitarnoi dopomohy, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/224-2022-%D0%BF#Text>.

10. YeS skasuie vsi torhovel'ni obmezhenia dlia Ukrainy. Khto vid ts'oho mozhe vyhraty?, available at <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/05/2/686503/>.

11. Biuleten' stanu torhovel'nykh vidnosyn mizh Ukrainoiu ta YeS u 2021 rotsi, available at: <https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&isSpecial=True&id=6b2412a2-219c-4aa9-b4ef-87f9690e520f&title=BiuletenPotochnogoStanuTorgovelnikhVidnosinMizhUkrainoiuTas>.

Стаття надійшла до редакції 29 квітня 2023 року

УДК 64-5:620

Ощипок І. М.,

him1960@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-5427-3376, Researcher ID: F-4641-2019, д.т.н., проф.,
завідувач кафедри харчових технологій, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА ГЕНЕРАТОРАМИ МІКРОМЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ТОРГІВЛІ

Анотація. У статті розглянуто систему електропостачання, відому як локальна електрична мікромережа (micro-grid) з визначеними електричними межами, яка працює мов єдиний керований об'єкт. Створення таких систем дозволяє радикально змінити відношення споживачів до управління процесами генерації та розподілу електроенергії. При цьому існує можливість оперативного підключення споживачів до загальної електромережі у випадку перевантаження та коливань напруги, що суттєво підвищує надійність електрозабезпечення. Охарактеризовані тенденції розвитку світового та українського ринків бензо- і дизель-генераторів (БДГ). Поставлені важливі питання про тарифікацію електроенергії, яка повинна бути взаємовигідною для виробників, постачальників та споживачів електричної енергії під час роботи автономної системи електроживлення. Запропонована методика, яка дозволить на науковій основі, виходячи зі складу обладнання, враховувати режими роботи машин, розраховувати нормативну кількість палива, необхідну для вироблення запланованої кількості електроенергії та ефективності її використання. Показані переваги застосування бензо- і дизель-генераторів, їх конструктивне виконання. Проаналізовані важливі вимоги щодо режимів роботи БДГ за рівнем генерованої потужності відповідно до стандарту ISO 8528, які висувуються до всіх їх типів у складі Microgrid. Наведені чотири класи регулювання, які визначають якість електроенергії БДГ з точки зору стабільності, напруги і безперебійності. Показано перспективний шлях вирішення питання енергоефективності БДГ. Передбачено, що в автономній мікромережі, яка має власні джерела електроенергії, доповнені системою накопичення енергії, потрібно визначити їх номенклатуру й умови ефективною експлуатації. Для контролю за виконанням норм на підприємствах повинен бути організований облік виробленої електроенергії і витрат палива за допомогою приладів, встановлених відповідно з правилами технічної експлуатації.

Ключові слова: мікромережа, паливо, генератор, потужність, електропостачання, контроль.

Ошчупок І. М.,

him1960@ukr.net, ORCID ID:0000-0002-5427-3376, Researcher ID: F-4641-2019, Doctor of Engineering,
Professor, Head of the Department of Food Technologies, Lviv University of Trade and Economics, Lviv

SUBSTANTIATION OF FUEL CONSUMPTION BY GENERATORS OF MICRO-GRID OF FOOD INDUSTRY AND TRADE ENTERPRISES

Abstract. The article examines a power supply system known as a local electrical micro-grid with defined electrical boundaries, which works as a single controlled object. The creation of such systems makes it possible to radically change the attitude of consumers to the management of electricity generation and distribution processes. At the same time, there is a possibility of prompt connection of consumers to the general power grid in case of overload and voltage fluctuations, which significantly increases the reliability of power supply. The development trends of the world and Ukrainian markets of gasoline and diesel generators (GDG) are characterized. Important questions were raised about electricity pricing, which should be mutually beneficial for producers, suppliers and consumers of electricity during the operation of the autonomous power supply system. The proposed technique will allow, on a scientific basis, based on the composition of the equipment, to take into account the modes of operation of the machines, to calculate the standard amount of fuel necessary for the production of the planned amount of electricity and the efficiency of its use. The advantages of using gasoline and diesel generators and their design are shown. The important requirements regarding the modes of operation of the GDG according to the level of generated power in accordance with the ISO 8528 standard, which are put forward for all their types as part of the micro-grid, are analyzed. There are four classes

of regulation that determine the quality of GDG electricity from the point of view of stability, voltage and continuity. A promising way to solve the issue of energy efficiency of GDG is shown. It is assumed that in an autonomous micro-grid, which has its own sources of electricity, supplemented by an energy storage system, it is necessary to determine their nomenclature and conditions for effective operation. In order to control compliance with the regulations, enterprises must organize accounting of generated electricity and fuel consumption with the help of devices installed in accordance with the rules of technical operation.

Key words: micro-grid, fuel, generator, power, power supply control.

JEL Classification: C52, L23, L64, L94, M40, O29
DOI 10.32782/2522-1221-2023-34-09

Постановка проблеми. В сучасних умовах російської агресії проти України і значного руйнування ворогом енергетичної інфраструктури для забезпечення роботи підприємств харчування, готельно-ресторанного бізнесу і торгівлі доводиться використовувати генератори, які працюють на дизельному і бензиновому паливі. Таких генераторів може знаходитися в експлуатації до декількох тисяч різних марок потужністю від 30 до 900 кВт у рік під час експлуатації генератори можуть споживати більше 100 тис. т палива і виробляти сотні тисяч кВт·год електроенергії. До повного відновлення енергосистеми України буде продовжуватися вироблення електроенергії генераторами.

Основними типами машин для підприємств торгівлі і харчових підприємств залишаються машини одиничної потужності 100 і більше кВт із питомою витратою умовного палива від 200 до 300 г/(кВт·год) при номінальній потужності двигуна.

Система електропостачання для таких умов відома як мікромережа [2] (MicroGrid). Мікромережа – це локальна електрична мережа з визначеними електричними межами, що діє як єдиний керований об'єкт. Вона здатна працювати в мережевому та острівному режимах [2], [3]. Якщо мікромережа підключена до мережі, вона зазвичай працює синхронно з традиційною глобальною мережею (макромережею), але при певних умовах може від'єднуватися від взаємопов'язаної мережі та функціонувати автономно в острівному режимі відповідно до технічних або економічних умов [5]. Отже, такі системи покращують безпеку постачання в осередку мікромережі та можуть забезпечувати аварійне живлення, перемикаючись між острівним і підключеним режимами [5], [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. мікромережа організована шляхом інтегрування малопотужних джерел енергії та максимальної їх адаптації до режимів електроспоживання. Створення таких систем дозволяє радикально змінити

відношення споживачів до управління процесами генерації та розподілу електроенергії [9]. У загальному вигляді система MicroGrid складається з декількох джерел електроенергії, пристроїв її акумулювання та засобів регулювання потоків електроенергії. При цьому існує можливість оперативного підключення споживачів до загальної електромережі у випадку перевантаження та коливань напруги, що суттєво підвищує надійність електрозабезпечення.

Математичний опис таких оптимізаційних алгоритмів у реальному часі є досить складним завданням. Головним чином це обумовлено нелінійностями при визначенні навантажень, невизначеністю профілів навантаження та стохастичного характеру вхідних параметрів системи і змінних, що описують процес генерації електроенергії. У випадку підключення до загальної електромережі необхідно враховувати диференційні тарифи на електроенергію енергопостачальних компаній. На даний час тарифна політика енергопостачальних компаній в Україні не стимулює кінцевого споживача до радикальної зміни графіків електроспоживання, однак тарифні зони зовнішньої мережі доцільно враховувати при математичному моделюванні та розрахунках оптимізаційних алгоритмів функціонування MicroGrid. слід зауважити, що у зв'язку з економічними реформами, які проводяться в Україні у відповідності до Протоколу про приєднання до Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію з ЄС, конкуренція між постачальниками електроенергії буде зростати через зменшення державного контролю над енергетичним ринком. Тому при техніко-економічному обґрунтуванні MicroGrid та оптимізації її алгоритмів необхідно враховувати тенденції на енергетичному ринку загалом. Особливим питанням при розробці MicroGrid є врахування шкідливих викидів в атмосферу при роботі локальних джерел електрогенерації (дизель-генераторів, мікротурбін, паливних елементів тощо) [10].

Під час перехідних процесів роботи мікромережі змінюється рівень генерації електроенергії, що ускладнює тарифікацію електроенергії з використанням статичних моделей. Розроблено низку методів для динамічного визначення вартості електроенергії в умовах змінного рівня генерації електроенергії автономними та розосередженими системами електроживлення. Питання підвищення точності визначення кількості генерованої електроенергії в осередку мікромережі системою електроживлення вимагає подальшого дослідження, оскільки відомий метод визначення вартості, розроблений без врахування динамічної зміни параметрів енергогенеруючої системи під час перехідних процесів, не досконалий [7].

Для аналізу особливостей роботи бензо- і дизель-генераторів (БДГ) у Microgrid коротко охарактеризуємо тенденції розвитку світового та українського ринків. Згідно зі звітом компанії Grand View Research, опублікованим у 2018 році, світовий ринок БДГ зростатиме зі швидкістю 6,8 % на рік і до 2022 р. сягне 21,37 млрд дол. [9]. У 2014 році найбільшим був сегмент малопотужних БДГ (за класифікацією компанії, це пристрої до 350 кВт), який займав 49 % ринку, однак із 2021 р. його частка може істотно скоротитися через стрімке зростання продаж високопродуктивних електростанцій. Малопотужні БДГ стикаються із зростаючою конкуренцією з боку установок на природному газі, хоча у високопродуктивному сегменті дизельні станції за вартістю експлуатації обходяться дешевше, ніж газові. Market Research Future (MRFR) прогнозує: до 2023 року світовий ринок БДГ буде зростати щорічно зі швидкістю 6,5 %. Дана компанія вважає, що домінуючим і найбільш швидкозростаючим залишатиметься найнижчий сегмент (у даному дослідженні до 500 кВт), це пов'язано з попитом на портативні та малопотужні генератори серед приватних осіб і малого бізнесу.

Постановка завдання. Автономні системи електроживлення широко використовуються у складі електротехнічних комплексів у різних секторах економіки та географічних регіонах України. Одним із важливих питань при роботі автономної системи електроживлення є тарифікація електроенергії, яка повинна бути взаємовигідною для виробників, постачальників та споживачів електричної енергії. На теперішній час для автономних систем електроживлення прийнятий механізм регулювання ціни на основі усталених режимів роботи та відповідних статичних моде-

лей. Таким чином, актуальне завдання полягає у розробці тарифікації на основі побудови моделі, що містить рівняння економічного балансу та рівняння перехідних процесів електротехнічної системи. необхідно запропонувати методику, яка дозволить на науковій основі, виходячи зі складу обладнання, холодильних машин і враховуючи режими їх роботи, розрахувати нормативну кількість палива, необхідну для вироблення запланованої кількості електроенергії та ефективності його використання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Автономні бензо- і дизельні електростанції є основними виробниками енергії там, де з різних причин централізоване електропостачання недоступне або якість його поставок залишає бажати кращого. Великий моторесурс і довговічність можна віднести до безперечних переваг БДГ. В якості первинного двигуна у БДГ використовуються двигуни внутрішнього згоряння з запалюванням палива від іскри чи стисненого повітря – дизелі. Механічна робота на валу двигуна використовується для вироблення електроенергії генератором електричного струму.

Областями використання БДГ є: резервне, допоміжне або основне джерело електроенергії в аеропортах, готелях; вузлах зв'язку, підприємствах торгівлі, харчування, системи життєзабезпечення (в ряді інших випадків) в автономному режимі або спільно з централізованими системами електропостачання.

Основними перевагами бензо- і дизель-генераторів є представлені на рис. 1.

Доцільність і переваги застосування бензо- і дизель-генераторів показані на рис. 2.

Варіанти конструктивного виконання бензо- і дизельних електростанцій показані на рис. 3.

Важливою вимогою, що висувається до всіх типів БДГ у складі Microgrid, є економічність [10], [11]. Рівень економічності оцінюють, вихо-



Рис. 1. переваги бензо- і дизель-генераторів

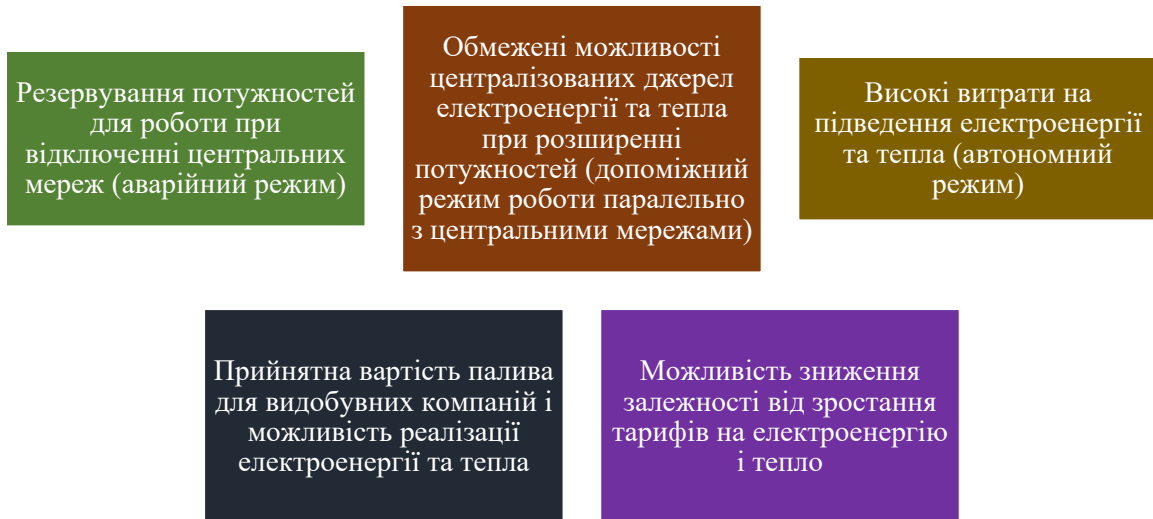


Рис. 2. Переваги застосування БДГ

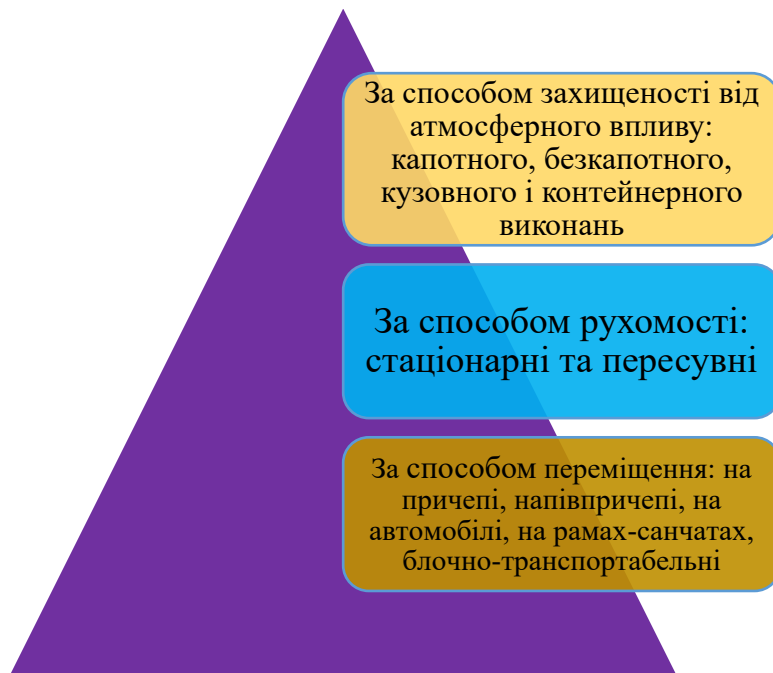


Рис. 3. Конструктивне виконання БДГ

дячи з обсягу пального, необхідного для генерації одного кіловата електроенергії протягом години. Таку систему оцінки використовують у країнах Європи та більшості країн Азії. Режими роботи БДГ щодо рівня генерованої потужності відповідно до стандарту ISO 8528 розділяють наступним чином:

- COP (Continuous power) – необмежений час експлуатації при постійному навантаженні. Можливість роботи на 100 % заявленої в цьому рейтингу потужності (приклад: безперервне джерело живлення паралельно з мережею);

- PRP (Prime power) – необмежений час експлуатації при змінному навантаженні, що не перевищує в середньому 70 % заявленої потужності (приклад: основне джерело електроживлення при відсутності живлення мережі);

- LTP (Limited time running power) – обмежений час експлуатації (не більше 500 год./рік) при постійному навантаженні (приклад: базове джерело для зняття піків при паралельній роботі);

- ESP (Emergency standby power) – обмежений час експлуатації (не більше 200 год./рік) при

змінному навантаженні (приклад: резервне джерело живлення).

Номінальна потужність генератора розраховується для задоволення максимальної потреби в електричних навантаженнях, які вимагають, зокрема, резервного живлення. Існує чотири класи регулювання, що визначають якість електроенергії БДГ з точки зору стабільності, напруги і безперебійності. Чим вищий клас, тим жорсткіші вимоги:

- Клас G1 – електрогенератори для навантажень загального призначення (системи загального застосування – освітлення та інші прості традиційні електричні навантаження).

- Клас G2 – електрогенератори для систем, де нормативи не є критичними і допускаються тимчасові відхилення (системи освітлення; насоси, вентилятори і підйомники).

- Клас G3 – електрогенератори для систем, де вимоги до характеристик енергопостачання помірно жорсткі (телекомунікаційна апаратура та напівпровідникові системи керування, пристрої силової електроніки, які не повинні спотворювати синусоїдальність кривої напруги).

- Клас G4 – електрогенератори для систем, які вимагають жорстких характеристик енергопостачання (системи обробки даних або обчислювальні системи). Підвищення енергетичної ефективності БДГ є одним із найбільш актуальних завдань побудови Microgrid [5].

Одним із перспективних шляхів вирішення питання енергоефективності є розробка “інверторних” t_{ij} -установок, які передбачають переведення двигуна генератора на змінну частоту

обертання, відповідно до його поточного завантаження. Вихідна напруга такої установки приводиться до стандартних параметрів за допомогою перетворювача частоти. Умови роботи БДГ в складі такого енергетичного комплексу характеризуються можливістю зниження частоти обертання до 40 % відносно номінальної залежно від ступеня завантаження станції. Залежно від завантаження магнітоелектричного генератора від частоти обертання привідного двигуна встановлюється зв'язок між вхідним струмом напівпровідникового перетворювача і частотою за умови мінімальної питомої витрати палива двигуна (рис. 4). Дані залежності можуть бути корисні при формуванні алгоритму керування перетворювачем.

Отже, взаємопов'язані зміни генерованої потужності та частоти обертання синхронного генератора, що працює в складі інверторної БДГ, за критерієм мінімальної витрати палива, скорочує діапазон зміни вихідної напруги генератора і змінює його коефіцієнт завантаження, що трохи полегшує умови роботи магнітоелектричного генератора і вентильного перетворювача.

Відомо, що фактична питома витрата палива технічно справного генератора часто перевищує паспортну номінальну витрату і визначається навантаженням двигуна за потужністю, кодом електрогенератора, витратою електроенергії на власні потреби, тривалістю роботи на холостому ходу, частотою пусків тощо. При навантаженні двигуна до 50 % від номінальної питома витрата палива відповідно до навантажувальних характеристик зростає на 12-14 %, витрата палива збіль-

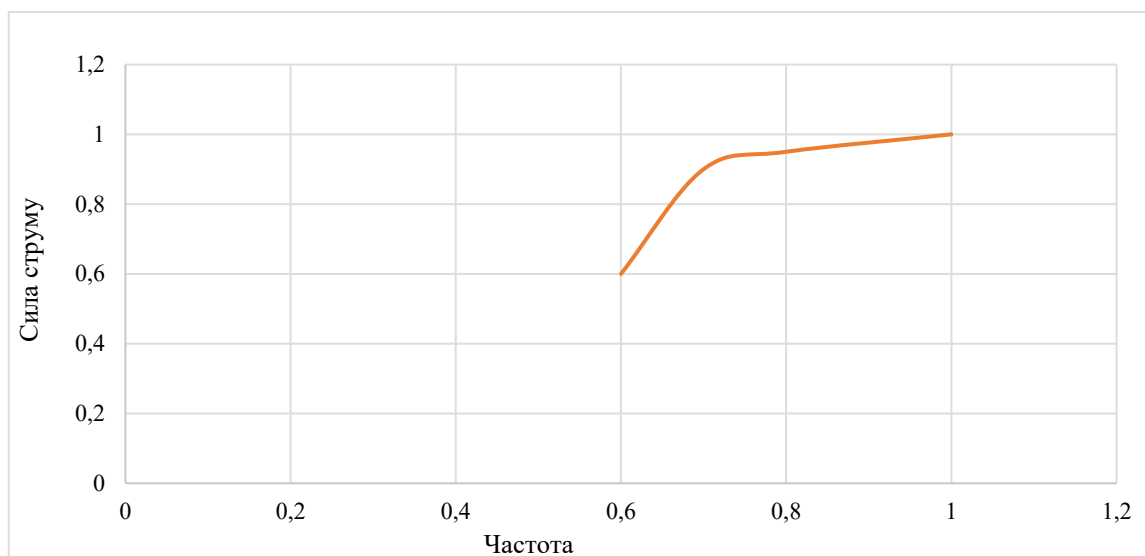


Рис. 4. Залежність сили струму навантаження I_n від частоти f синхронного генератора

шується на 7-12 % через електромеханічні втрати в генераторі, 3-4 % електроенергії витрачається на власні потреби.

Таким чином, технологічна питома витрата палива генератором може перевищувати паспортну на 22-25 %. Тому фактичну питому витрату палива для різних підприємств харчування і торгівлі слід враховувати за коефіцієнтом витрати палива для різних умов виробництва і моделей генератора.

Для оцінки ефективності використання палива для генераторів запропонуємо методику, яка дозволить на науковій основі, виходячи зі складу обладнання, холодильних машин і враховуючи режими їх роботи, розрахувати нормативну кількість палива, необхідну для вироблення запланованої кількості електроенергії.

Будь-яка методика чи інструкція з нормування витрати палива повинна задовольняти наступним вимогам:

- максимальної мобілізації внутрішніх резервів із економії палива і досягнення передбачуваних високих показників;

- визначення індивідуальних норм витрати розрахунково-аналітичним шляхом, виходячи з нормативних характеристик паливоспоживаючих агрегатів;

- застосування нормування лише до технічно справних агрегатів в умовах правильно організованої експлуатації;

- обміну витрат палива, пов'язаних із холостим ходом при запуску і зупинці, а також експлуатаційних витратах палива у разі розрахункових режимних і технічних умов експлуатації.

Важливою особливістю експлуатації є її різноманітний характер навантаження, що пояснюється широким застосуванням холодильних машин та різноманітного технологічного обладнання підприємств харчової промисловості і торгівлі. Аналіз роботи діючих генераторів різної одиничної потужності показує, що середнє навантаження впродовж тривалого часу роботи складає всього до 50 % від номінальної потужності.

Навантажувальні характеристики двигунів різних марок суцільно індивідуальні, проте відносне збільшення питомої витрати палива при

зниженні навантаження регламентується державними нормами і забезпечується заводом-виробником, яке вимагає від двигунів, призначених для роботи за навантажувальною характеристикою і приводів генераторів змінного струму, того, що значення питомої витрати палива при навантаженні 75 і 50 відсотків номінальної потужності не повинно перевищувати значень 105 і 110 відсотків від витрат на номінальній потужності.

З лінійної залежності, яка зв'язує відносну витрату палива \bar{B} двигуном і його відносне навантаження \bar{N} в даних умовах

$$\bar{B} = 0.1 + 0.9\bar{N} \quad (1)$$

випливає залежність відносної питомої витрати від відносного навантаження для будь-якого двигуна, оскільки технічні умови (при $\bar{N} = N / N_{ном.}$):

$$K = \bar{B} / \bar{N} = 0.9 + 0.1N_{ном.} / N \quad (2)$$

Коефіцієнт K показує, у скільки разів питома витрата палива при деякому навантаженні N більша від витрати палива при номінальному навантаженні $N_{ном.}$

З формули (2) можна показати, що коливання навантаження біля деякого середнього значення викличуть додаткову витрату палива.

Так, змінна робота з навантаженням 30 і 70 % при середньому навантаженні 50% викликає збільшення витрати палива на 3,7 %. При зниженні навантаження на кожні 25 % ккд електричного генератора зменшується приблизно на 1 %. Врахування двох останніх поправок дозволяє описати коефіцієнт витрати палива виразом

$$K_p = 0,87 + 0,13N / N_{ом.} \quad (3)$$

У табл. 1 наведемо коефіцієнти витрати палива залежно від навантаження двигуна.

Індивідуальні норми витрати палива на вироблення електроенергії визначають як для кожного генератора, так і для електростанції в цілому при задіянні декількох генераторів. Норму необхідно обчислювати на основі ряду даних, які характеризують джерело енергії, обсяг і режим її вироблення.

1. Модель генератора і його номер.
2. Номінальна потужність двигуна $N_{ном.}$, кВт.

Таблиця 1

Витрати палива при різному навантаженні двигуна

Відношення середньорічного навантаження до номінальної потужності двигуна	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Коефіцієнт витрати палива	1,00	1,014	1,032	1,056	1,087	1,130	1,195

3. Питома витрата палива при номінальній потужності U_q , кг /кВт/год.

4. Ккд електрогенератора η_q .

5. Звітне вироблення електроенергії за год кВт·год.

6. Число годин роботи двигуна, год., τ .

7. Число пусків двигуна за год., n .

8. Коефіцієнт витрати електроенергії на власні потреби, K_v .

9. Коефіцієнт витрати палива на холостому ходу, K_h .

При плануванні вироблення електроенергії число пусків двигуна протягом року n і річну тривалість роботи двигуна під навантаженням приймають на основі даних експлуатації генератора, в попередній період із урахуванням графіку технічного обслуговування і ремонту, завдання з вироблення електроенергії і порівняльної економічності окремих агрегатів.

Індивідуальну норму витрат палива обчислюємо у наступному порядку.

1. Середньорічне навантаження двигуна, кВт

$$N_{cp} = W / (\eta_g \tau) \quad (4)$$

2. Коефіцієнт витрати палива при роботі із середньорічним навантаженням (3).

3. Розрахункова питома витрата палива при роботі генератора з середньорічним навантаженням N_{cp} кг/кВт·год.

$$r_c = K_v \tau_g / \eta_g \quad (5)$$

витрат палива при роботі двигуна на холостому ходу, кг

4. Річна витрата палива при роботі двигуна на холостому ходу, кг

$$R_x = K_h \cdot \sigma_g \tau_x n N_{ном} \quad (6)$$

5. Індивідуальна норма витрати палива на вироблення електроенергії генератором, кг/кВт·год.

$$I_N = \tau_c + R_x / W \quad (7)$$

6. Індивідуальна норма витрати умовного палива, кг/(кВт·год)

$$\tau_u = 1.45 / N \quad (8)$$

7. Норма витрати умовного палива для електростанції на вироблення електроенергії кг/(кВт·год)

$$\tau_{uc} = \tau_{u1} \frac{W_1}{W_0} + \tau_{u2} \frac{W_2}{W_0} + \dots + \tau_{ui} \frac{W_i}{W_0} \quad (9)$$

де $\tau_{u1}, \tau_{u2}, \dots, \tau_{ui}$ – норми витрати палива генераторами електростанції, кг/(кВт·год)

W_1, W_2, \dots, W_i – річне вироблення електроенергії кожним генератором, кВт·год

$W_0 = W_1 + W_2 + \dots + W_i$ – загальне вироблення електроенергії всіма генераторами, кВт·год.

8. Індивідуальна норма витрати умовного палива на відпуск електроенергії електростанцією, кг/(кВт·год)

$$\tau_{uw} = \tau_{uc} / (1 - K_v) \quad (10)$$

Для оцінки ефективності використання палива фактичну питому витрату його генератором необхідно порівняти з нормою витрати для тих самих виробничих умов. Якщо фактична витрата вища за норми, необхідно проаналізувати роботу генератора з метою виявлення й усунення причин невикористаної перевитрати палива.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Індивідуальні норми витрати палива на підприємствах харчової промисловості і торгівлі для конкретних умов роботи генераторів у відповідності з нормативними документами затверджуються керівництвом підприємств. Їх необхідно систематично переглядати і вдосконалювати з урахуванням змін структури парку обладнання, режимів його роботи, досягнутих найбільших економічних показників.

Для контролю за виконанням норм на підприємствах повинен бути організований облік виробленої електроенергії і витрати палива за допомогою приладів, встановлених згідно з правилами технічної експлуатації. Контроль і захист для мікромережі пов'язані з труднощами, оскільки всі допоміжні послуги для стабілізації системи повинні генеруватися в межах мікромережі, а низькі рівні короткого замикання можуть бути складними для вибіркової роботи систем захисту. Важливою особливістю також є забезпечення інших корисних енергетичних потреб, окрім електроенергії, таких як опалення та охолодження, оскільки це дозволить замінити носії енергії та підвищити енергоефективність завдяки використанню відпрацьованого тепла для цілей опалення, гарячої води для побутових потреб та охолодження (міжгалузеве використання енергії).

В автономній мікромережі, яка має власні джерела електроенергії, доповнені системою накопичення енергії, потрібно досліджувати їх номенклатуру й умови ефективної експлуатації. Вони використовуватимуться там, де передача та розподіл електроенергії від основного централізованого джерела енергії занадто віддалені та дорогі для експлуатації для можливості електрифікації сільської місцевості у віддалених районах

і на малих географічних островах. Автономна мікромережа може ефективно інтегрувати різні джерела розподіленої генерації, особливо відновлювані джерела енергії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Hu J., Lanzon A. Distributed finite-time consensus control for heterogeneous battery energy storage systems in droop-controlled microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019. 10 (5): 4751–4761. doi:10.1109/TSG.2018.2868112. S2CID 117469364.
2. How Microgrids Work. U.S. Department of Energy, June 2014.
3. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that acts as a single controllable entity and is able to operate in either grid-connected or island mode.
4. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that cannot be connected to a wider electric power system.
5. Hu J., Bhowmick P. A consensus-based robust secondary voltage and frequency control scheme for islanded microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020. 116: 105575. doi:10.1016/j.ijepes.2019.105575. S2CID 208837689.
6. Microgrids and Vehicle-Grid Integration. Berkeley Lab. Retrieved 21 June 2022.
7. Abinash Singh, Balwinder Singh Surjan MICROGRID: A REVIEW *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume: 03 Issue: 02 | Feb-2014.
8. Smart Grid European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. European Commission, 2005. URL: <http://www.smartgrds.eu>.
9. Zhuikov V. I., Boiko I. Y., Denysiuk S. P. Model of dynamic tariffing Microgrid's electricity consumption in local energy markets. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, IX (31), Issue: 250, 2021 Feb. – P. 50–53.
10. Diesel power plants – the main characteristics. URL: <https://pogliad.ua/news/com-news/profesiyniy-krugozir/dizelni-elektrostanciyi---osnovni-harakteristiki-374868>.
11. http://www.know-house.ru/avtor/0028/diesel_generator_fuel.html.

REFERENCES:

1. Hu J. and Lanzon A. (2019), Distributed finite-time consensus control for heterogeneous battery energy storage systems in droop-controlled microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 10 (5): 4751–4761. doi:10.1109/TSG.2018.2868112. S2CID 117469364.
2. How Microgrids Work. U.S. Department of Energy, June 2014.
3. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that acts as a single controllable entity and is able to operate in either grid-connected or island mode.
4. Electropedia. International Electrotechnical Commission. 2017-12-15. group of interconnected loads and distributed energy resources with defined electrical boundaries forming a local electric power system at distribution voltage levels, that cannot be connected to a wider electric power system.
5. Hu J. and Bhowmick P. (2020), A consensus-based robust secondary voltage and frequency control scheme for islanded microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 116: 105575. doi:10.1016/j.ijepes.2019.105575. S2CID 208837689.
6. Microgrids and Vehicle-Grid Integration. Berkeley Lab. Retrieved 21 June 2022.
7. Abinash Singh, Balwinder Singh Surjan MICROGRID: A REVIEW *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume: 03 Issue: 02 | Feb-2014.
8. Smart Grid European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. European Commission, 2005, available at: <http://www.smartgrds.eu>.
9. Zhuikov, V. I. Boiko, I. Y. and Denysiuk, S. P. Model of dynamic tariffing Microgrid's electricity consumption in local energy markets. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, IX (31), Issue: 250, 2021 Feb. – P. 50–53.
10. Diesel power plants – the main characteristics, available at: <https://pogliad.ua/news/com-news/profesiyniy-krugozir/dizelni-elektrostanciyi---osnovni-harakteristiki-374868>.
11. http://www.know-house.ru/avtor/0028/diesel_generator_fuel.html.

Стаття надійшла до редакції 24 березня 2023 року

ВІСНИК
ЛЬВІВСЬКОГО ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

Збірник наукових праць

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Випуск 34

Літературний редактор – Муравицька Н. О.

Коректор – Мох О. П.

Комп'ютерний макет видавництва

Львівського торговельно-економічного університету

Електронна версія: <http://journals-lute.lviv.ua/index.php/visnyk-tech>

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 6,60. Ум. друк. арк. 8,84. Зам. № 0723/451

Підписано до друку 03.07.2023. Наклад 300 прим.

Віддруковано в друк. видавництва Львівського торговельно-економічного університету
79005, м. Львів, вул. Туган-Барановського, 10. Тел. 244-40-19. e-mail drook@ukr.net
Свідоцтво Держкомітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України
серія ДК № 5149 від 15.07.2016 р.