



---

---

2019

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 25 № 5

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2019

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

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

Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is included into the list of professional editions of Ukraine of technical and economic sciences, category “B” (Decree of MES of Ukraine # 975 from July 11, 2019), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

#### **Editorial office address:**

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 3 from 31th of October, 2019

© NUFT, 2019

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

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

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних та економічних наук, категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

#### **Адреса редакції:**

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій. Протокол № 3 від 31 жовтня 2019 року

© НУХТ, 2019

## Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

**Головний редактор**  
**Editor-in-Chief**

**Анатолій Українець**  
**Anatoliy Ukrainets**

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

**Заступник головного редактора**  
**Deputy chief editor**

**Олександр Шевченко**  
**Olexander Shevchenko**

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

**Відповідальний секретар**  
**Accountable secretary**

**Юрій Пенчук**  
**Yuriy Penchuk**

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

## Члени редакційної колегії:

**Агота Гедре Райшене**  
**Agota Giedre Raisiene**

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

**Атанаска Тенева**  
**Atanaska Teneva**

д-р екон. наук, доц., Болгарія  
Ph. D. Hab., University of Food Technolodgies, Bulgaria

**Анатолій Зайнчковський**  
**Anatoly Zainchkovski**

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

**Анатолій Ладанюк**  
**Anatoly Ladanyuk**

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

**Андрій Маринін**  
**Andrii Maryin**

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

**Брайан Мак Кенна**  
**Brian McKenna**

д-р техн. наук, проф., Ірландія  
Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

**Валерій Мирончук**  
**Valerii Myronchuk**

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

**Василь Кишенько**  
**Vasyl Kyshenko**

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

**Василь Пасічний**  
**Vasyl Pasichnyi**

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

**Віктор Доценко**  
**Victor Dotsenko**

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

**Віктор Стабніков**  
**Viktor Stabnikov**

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

**Володимир Зав'ялов**  
**Volodymyr Zavialov**

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

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

## ЗМІСТ

### Біотехнології

Данилкович А. Г., Хлебнікова Н. Б. Модифікація колагенвмісних матеріалів для формування водостійких виробів  
Пирог Т. П., Мартинюк А. О., Пенчук Ю. М., Мучник Ф. В. Нетрадиційні продуценти поверхнево-активних речовин  
Боднар О. В., Скροцька О. І. Мікроорганізми як продуценти інтерферонів I та II типу: сучасний стан досліджень

### Механічна та електрична інженерія

Булій Ю. В., Куц А. М., [Шиян П. Л.] Підвищення експлуатаційних характеристик масообмінних колонних апаратів циклічної дії  
Якимчук В. М., Гавва О. М. Ефективне використання енергетичного ресурсу в мехатронних модулях пакувальних машин  
Черевко О. І., Маяк О. А., Костенко С. М., Сардаров А. М. Оцінка тепломасообмінного обладнання шляхом імітаційного моделювання  
Миرونчук В. Г., Змієвський Ю. Г., Захаров В. В., Устїнов О. А., Дзязько Ю. С. Застосування екологічних способів для переробки нанофільтраційного пермеату молочної сироватки та отримання природних концентратів мінеральних речовин  
Зав'ялов В. Л., Мисюра Т. Г., Запорожець Ю. В., Попова Н. В. Вплив режимних параметрів на кінетику безперервного віброекстрагування з рослинної сировини  
Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Литвинчук С. І. Перехідні процеси в бродильних технологіях

### Харчові технології

Головко М. П., Головко Т. М., Геліх А. О., Применко В. Г. Дослідження показників якості страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молоска прісноводного та їх змін під час зберігання  
Гречко В. В., Страшинський І. М., Пасичний В. М. Використання гелів з нетрадиційної сировини для виробництва м'ясних напівфабрикатів  
Дробот В. І., Сорочинська Ю. С., Грищенко А. М. Перспектива збагачення безглютеинових хлібобулочних виробів казеїном  
Іоргачова К. Г., Соколова Н. Ю., Макарова О. В., Гордієнко Л. В. Сучасні аспекти використання рослинної сировини для гальмування псування хлібобулочних виробів зниженої вологості  
Іващенко К. Ю., Стоянова Л. О., Красуля О. О. Аналіз причин і заходів щодо запобігання

## CONTENTS

### Biotechnology

7 Danylkovych A., Khlebnikova N. Modification of collagen-containing materials for forming water-resistant products  
15 Pirog T., Martyniuk A., Penchuk Yu., Muchnik F. Non-traditional producers of surfactants

31 Bodnar O., Skrotska O. Microorganisms as producers of interferones of type I and II: current status of research

### Mechanical and Electrical Engineering

48 Buliy Y., Kuts A., [P. Shiyanyan] Increasing of operating characteristics of cycle column mass-exchange apparatus

55 Iakymchuk V., Gavva O. Efficient use of energy resources in mechatronic module of packing machines

64 Cherevko A., Mayak O., Kostenko S., Sardarov A. Assessment of heat-mass transfer equipment by simulation modeling

74 Myronchuk V., Zmievskii Yu., Zakharov V., Ustinov O., Dzyazko Y. Application of ecological methods for processing of nanofiltration permeate of whey and obtaining natural concentrates of mineral substances

83 Zaviyalov V., Myisura T., Zaporozhets Yu., Popova N. The influence of regime parameters on kinetics of continuous vibration extraction of plant raw materials

92 Sokolenko A., Shevchenko O., Litvynchuk S. Transition processes in fermentation technologies

### Food Technology

100 Golovko N., Golovko T., Gelikh A., Prymenko V. Research of quality indicators of dishes and culinary products with use of semi-finished product of freshwater mussel and their changes during storage

108 Grechko V., Strashynskiy I., Pasichnyi V. Using of gels made from untraditional materials to produce meat semi-finished products

117 Drobot V., Sorochynska J., Hryshchenko A. Perspective of the enrichment of bakery products by casein

125 Iorgachova K., Sokolova N., Makarova O., Gordiienko L. The modern aspects of the use of herbs raw materials to prevent the spoilage of bakery products with low-moisture content

135 Ivashchenko E., Stoyanova L., Krasulya O. Analysis of causes and measures for the pre-

- утворенню токсинів *C. botulinum* у консервованих продуктах протягом усього виробничого циклу
- 143 *Kochubei-Lytvynenko O., Yatsenko O., Yushchenko N., Kuzmyk U., Mykoliv I.* Justification of the feasibility of use the natural fillers in the technology of butter pastes
- 152 *Deinychenko G., Lystopad T., Vishnikin A., Tamen A.-E.* Determination of iodine content in laminaria and enriched berry sauce
- 162 *Mykhaylov V., Zagorulko O., Zahorulko A., Kasabova K., Gordienko I. O.* Creation of quality new fruit and vegetable semi-finished products and confectionery products with healthy properties on their basis
- 173 *Nosenko T., Muzyka O., Cygankova G., Levchuk I., Marynchenko I. O.* Specifics of composition of oil from non-drug hemp of domestic selection
- 181 *Paska M., Masliichuk O. B.* Express method of hygienic quality control of the improved technological process of preparation of meat chopped semi-finished products with plant raw materials
- 187 *Kotliar Ye., Tkachenko N., Zdorenko K., Radziewska I.* Antioxidant properties of oils obtained from different rapeseed varieties
- 197 *Simakhina G. O.* New challenges to food industry of Ukraine within the strategy of improvement of national health
- 206 *Tarasuk L., Oliynyk S., Prybyl'skiy V. I.* Relevance of application of opal-chalcedone material in the technology of vodka
- 216 *Bolshak Yu., Ukrainets A. I., Marynin A, R. Svyatnenko P. C.* Study of the QHF irradiation influence of water on its structural and energy state and possible biological consequences of the process
- 226 *Sukhenko V., Shtonda O., Son'ko N., Shevchuk L.* Development of complex food supplements based on an animal and vegetable raw materials for meat products
- 233 *Yukalo V., Datsyshyn K., Semenyshyn G. M.* Characteristics of the molecular weights of whey protein concentrate proteolysis products obtained by the action of pancreatine
- 240 *Kovtun A., Kovbasa V., Soloschenko K., Soloschenko V., Baldyniuk O. B.* Research of moisture content in formed potato chips
- 249 *Tsisaryk O., Musiy L., Slyvka I., Hotina O.* Research of oxidation stability of cultured butter during storage
- Визначення вмісту йоду в ламінарії та збагаченому нею ягідному соусі
- Створення якісно нових плодоовочевих напівфабрикатів і кондитерських виробів на їх основі з оздоровчими властивостями
- Особливості складу олії із насіння ненаркотичних конопель вітчизняної селекції
- Експрес-метод гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною
- Антиокислювальні властивості олій, отриманих з різних сортів виноградного насіння
- Нові виклики перед харчовою промисловістю України в стратегії поліпшення національного здоров'я
- Актуальність застосування опало-халцедонового матеріалу у технології горілок
- Вивчення впливу КВЧ-опромінення води на її структурно-енергетичний стан і можливі біологічні наслідки процесу
- Розробка комплексної харчової добавки на основі тваринної та рослинної сировини для м'ясних продуктів
- Характеристика молекулярних мас продуктів протеолізу концентрату сироваткових білків, отриманих за дії панкреатину
- Дослідження вмісту вологи у формованих картопляних чипсах
- Дослідження оксидантної стабільності кислорошккового масла під час зберігання

## MODIFICATION OF COLAGEN-CONTAINING MATERIALS FOR FORMING WATER-RESISTANT PRODUCTS

**A. Danylkovych**

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**N. Khlibnikova**

*Cherkasy State Business College*

---

**Key words:**

*Leather velour*

*Fur velour*

*Hydrophobicizing*

*Physical and chemical properties*

*Total thermal resistance*

---

**Article history:**

Received 16.09.2019

Received in revised form  
30.09.2019

Accepted 07.10.2019

---

**Corresponding author:**

**E-mail:**

npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Despite the wide range of chemical reagents that are recommended for the formation of waterproof leather and fur materials, there is an objective need to conduct appropriate systematic research in obtaining natural materials for products from various types of collagen-containing raw materials. The aim of research is the development of technologies for the formation of waterproof leather and fur velour materials using alkene-maleic polymer.

The object of research is the physicochemical processes for the manufacture of various types of velour materials of high water resistance from cattle raw materials — a chrome tanning bull after cutting semi-finished product to a thickness of 2 mm and a syntan-tannine filling and a similar filling thickness of 1.1—1.2 mm. Modified leather velour was obtained by treating semi-finished product with an alkene-maleic polymer in the working solution, and the fur velour — by spraying its solution on the pile surface of the semi-finished product. Modified materials are characterized by high rates of dynamic resistance, which for leather velour and skin fabric of fur velour are large compared to non-hydrophobic materials 50 and 28 times, respectively, and exceed other unmodified physical and chemical properties. The increased heat-shielding properties and the stability of the physicochemical parameters of the fur velour under conditions of high humidity are due to the dispersing and hydrophobic effect on the skin structure of the alkene-maleic polymer.

The results of the formation of leather and fur velour materials for the manufacture of footwear and clothing products give ground for conducting technological tests in semi-production conditions and the manufacture of products for operation in conditions of high humidity.

## МОДИФІКАЦІЯ КОЛАГЕНВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ВОДОСТІЙКИХ ВИРОБІВ

А. Г. Данилкович

Київський національний університет технологій та дизайну

Н. Б. Хлєбнікова

Черкаський державний бізнес-коледж

*Незважаючи на широкий асортимент хімічних реагентів, які рекомендуються для формування водостійких шкіряних і хутрових матеріалів, існує об'єктивна необхідність у проведенні відповідних систематичних досліджень при отриманні натуральних матеріалів для виробів з різних видів колагенвмісної сировини.*

*У статті розроблено технології формування водостійких шкіряних і хутрових велюрових матеріалів з використанням алкенмалеїнового полімеру. Об'єктом дослідження є фізико-хімічні процеси виготовлення різного виду велюрових матеріалів підвищеної водостійкості з сировини великої рогатої худоби — бичка хромового дублення після стругання напівфабрикату на товщину 2 мм та синтанно-танідного наповнювання і напівгрубошерстої овчини аналогічного наповнення товщиною 1,1—1,2 мм. Модифікований шкіряний велюр отримували шляхом оброблення напівфабрикату алкенмалеїновим полімером у робочому розчині, а хутровий велюр — при розпилюванні його розчину на ворсовій поверхні напівфабрикату. Модифіковані матеріали характеризуються високими показниками динамічного опору, які для шкіряного велюру і шкірної тканини хутрового велюру є більшими порівняно з негідрофобізованими матеріалами відповідно в 50 і 28 разів, а за комплексом інших фізико-хімічних властивостей перевищують немодифіковані. Підвищення теплозахисних властивостей і стабільність фізико-хімічних показників хутрового велюру в умовах високої вологості обумовлене диспергуючою і гідрофобізуючою дією на структуру шкірної тканини алкенмалеїнового полімеру.*

*Отримані результати з формування шкіряних і хутрових велюрових матеріалів для виготовлення взуттєвих і одягових виробів дають підстави для проведення технологічних випробувань у напіввиробничих умовах і виготовлення виробів для експлуатації в умовах підвищеної вологості.*

**Ключові слова:** *шкіряний велюр, хутровий велюр, гідрофобізація, фізико-хімічні властивості, сумарний тепловий опір.*

**Постановка проблеми.** У зв'язку з підвищеним попитом на шкіряні та хутрові матеріали з комплексом високих експлуатаційних властивостей виникає об'єктивна проблема у розробленні ефективних технологій підвищення їх якості та конкурентоспроможності виготовлення. Зважаючи на це, особлива увага приділяється матеріалам, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості. Це досягається шляхом наукового пошуку нових хімічних реагентів та їх раціонального використання. Для ефективного пошуку шляхів досяг-

нення якості отриманих шкіряних і хутрових матеріалів необхідною умовою при розробленні відповідних технологій має бути їх характеристика за комплексом фізико-механічних і гігієнічних показників. Водночас слід відзначити, що процес модифікації такого типу матеріалів у повному технологічному циклі їх виготовлення має відбуватись на стадії додублювання—наповнювання—жирування. З цією метою використовуються складні композиції, що включають інгредієнти різного хімічного складу органічної та неорганічної природи. Однак у зв'язку з відсутністю наукового підходу при виборі ефективних гідрофобізуючих реагентів та їх композицій виникає актуальна необхідність у розробленні наукових основ формування водостійких шкіряних і хутрових матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При формуванні водостійких шкір використовують широкий асортимент хімічних матеріалів, у тому числі естери жирних і оксикарбонових кислот, їхні похідні, оксиетиллові жирні кислоти, азотмісткі сполуки, поліметилсилоксанові каучуки, фторкарбоніві полімери, фтормісткі силани, композиції на основі солей алюмінію, парафінів і восків тощо [1]. Відомо також застосування поліорганосилоксанів з поліакрилатами й амідами жирних кислот при їх фіксації солями алюмінію чи цирконію [2]. Використання фтормістких силанів і полімерів на основі фторкарбонових кислот [3] дає можливість підвищити експлуатаційні властивості натуральних матеріалів, зокрема шкіряного спилку для верху взуття. Фторсилан і фторсилоксан надають стійкий гідрофобний ефект шкірній тканині хутра [4] з підвищенням її міцності. При цьому в три рази знижуються намокання і вологоємність, суттєво підвищується опір до водопомокання та пружність волосу без зниження гігієнічних властивостей.

Застосування для підвищення водостійкості напівфабрикату поліетилгідроксилосаноакрилатних полімерів [5] забезпечує дубильний і плівкоутворювальний ефекти завдяки активним силановим, карбонільним, карбоксильним гідроксильним групам, які вступають у взаємодію з аміногрупами дерми. При застосуванні композиції кремнійорганічних сполук, модифікованих фтортолуолом, досягається значне зниження водопомокання шкіри в динамічних умовах [6]. Так, при виготовленні шкір світлих кольорів максимальний гідрофобний ефект досягається при застосуванні фторвуглецевих сполук [7] після додублювання напівфабрикату акриловими полімерами і танідами. У [8] на стадії додублювання і жирування хромового напівфабрикату використано кополімер акрилової кислоти і гідрофобних акрилатних мономерів різного хімічного складу. Встановлено ефективний вплив на підвищення ступеня наповнення, водостійкості, пластичності та механічної міцності кополімерів з прямими вуглеводневими ланцюгами. При цьому найбільший гідрофобний ефект досягається при довжині бічного ланцюга більше ніж  $C_{16}$ .

Для підвищення водостійкості та брудовідштовхування шкіри відомо [8] використання гібридних поліфункціональних поліуретанів орґано-неорґанічних амфідільних полімерів з гідрофобними, олеофобними і гідрофільними

радикалами. Однак після такої модифікації підвищується жорсткість матеріалу та погіршується його зовнішній вигляд.

Отже, незважаючи на широкий асортимент хімічних реагентів, які рекомендуються для формування водостійких шкіряних і хутрових матеріалів, існує об'єктивна необхідність у проведенні відповідних систематичних досліджень при отриманні натуральних матеріалів для виробів з різних видів колагенвмісної сировини.

**Мета дослідження:** розроблення технологій формування водостійких шкіряних і хутрових велюрових матеріалів з використанням алкенмалеїнового полімеру.

**Викладення основних результатів дослідження.** Як об'єкти дослідження використані велюрові матеріали різного виду. Шкіряний велюр отриманий з напівфабрикату великої рогатої худоби (ВРХ) — бичка хромового дублення після стругання напівфабрикату на товщину 2 мм та синтаннотанідного наповнювання. Для хутрового велюру овчини (ХВО) використано напівфабрикат хромового дублення напівгрубошерстої овчини аналогічного наповнення товщиною 1,1—1,2 мм. Хімічний склад об'єктів дослідження наведено в табл. 1. Хутровий велюр відрізняється від шкіряного наявністю волосяного покриву й товщиною шкірної тканини.

*Таблиця 1. Хімічний склад напівфабрикату для шкіряного і хутрового велюру*

Показник	Напівфабрикат	
	ВРХ	овчини
Температура зварювання, °С	107	82
Масова частка <sup>1</sup> , %, вологи	14,6	13,2
- оксиду хрому (III)	3,9	2,8
- речовин, що екстрагуються органічними розчинниками (без полімерних сполук)	16,3	11,3 <sup>2</sup>
pH водної витяжки шкірної тканини <sup>3</sup>	—	3,4

**Примітка:** 1 — в перерахунку на абсолютно суху речовину; 2 — нез'язаних жирових речовин; 3 — нефарбованих шкур.

Для модифікації колагенвмісних матеріалів застосовано полімер на основі  $\alpha$ -алкенів  $C_{20-24}$  і малеїнового ангідриду (АМ полімер) з середньочисловою молекулярною масою  $38 \cdot 10^3$ . Гідрофобізуючий ефект модифікованих матеріалів оцінювали комплексом фізико-хімічних методів дослідження. Динамічне водопромокання матеріалів визначали на приладі марки ПВД-2 (РФ) за тривалістю промокання при швидкості деформування зразків 70 подвійних ходів на хвилину. Намокання матеріалу в статичних умовах визначали за збільшенням маси через 2 і 24 год [10]. Там же описані методики фізико-механічних і гігієнічних властивостей, а також сумарного теплового опору для хутрового велюру, визначеного на приладі моделі ПТС-225 (РФ). Міцність і деформаційні властивості отриманих матеріалів оцінювали на розривній машині РТ-250М (РФ) при швидкості деформування 80 мм/хв. Гідроброблення ХВО проводили аналогічно текстильним матеріалам протя-

гом 10 хв шляхом розбризкування води за температури 24—26°C за стандартом ISO 4920:2012.

Модифікацію шкіряного велюру проводили шляхом оброблення нейтралізованого напівфабрикату хромового дублення у робочому розчині при наповненні за наявності гідрофобізуючого реагенту. Як контрольний варіант використано оброблення напівфабрикату в синтанно-танідній композиції з додаванням аніонактивного жирувального матеріалу «Провол WA» фірми «Zschimmer&Schwarz GmbH&Co KG» (ФРН). Велюр овчини обробляли шляхом розпилення водно-органічного розчину модифікатора 8% концентрації з витратою 60 г/м<sup>2</sup> ворсової поверхні. Наступна фіксація алкенамалеїнового полімеру проводилась 10-відсотковим розчином алюмокалієвого галуну за витрати 20 г/м<sup>2</sup>. Після 12 год пролежування зразки підсушували за температури 40—45°C до вологості 16—18%. Шкіряні зразки після наповнення-гідрофобізації в барабані, видалення вологи до 24—26% розминали у рухомому барабані протягом 2,0—2,5 год і досушували у вільному стані до вологості 14—16% за температури 30—35°C. Для створення ворсової поверхні велюру напівфабрикат підлягав шліфуванню з використанням відповідного номера шліфувального полотна. Фінішне оброблення зразків проводили на витягувально-м'якшильній машині вібраційного типу 07783/P2 «Mollisana» фірми Svit (Чехія). Орієнтація ворсу на поверхні матеріалу досягалась за допомогою щітки.

Перед дослідженням властивостей велюрових зразків проводили їх кондиціонування в нормальних умовах [10]. Результати дослідження властивостей модифікованого шкіряного велюру наведено в табл. 2.

*Таблиця 2. Фізико-хімічні властивості шкіряного велюру*

Показник	Пластифікатор	
	АМ полімер	Провол WA
Водопромокання в динамічних умовах, хв	90,0	1,8
Намокання, %, через год 2	7,4	81,0
Намокання, %, через год 24	29,0	87,0
Межа міцності при розтягуванні, МПа, у стані:		
- сухому	29,0	26,0
- мокрому	27,0	21,0
Відносне повне подовження при напруженні 9,8 МПа, %, у стані:		
- сухому	29,0	26,0
- після 24 год намокання	33,0	41,0
Відносне повне подовження при розриві, %, у стані:		
- сухому	62,0	57,0
- мокрому	69,0	72,0
Повітропроникність, 10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	1,89	1,58
Паропроникність, 10 <sup>-6</sup> кг/(м <sup>2</sup> ·с)	3,6	5,0
Пористість, %	56,0	51,0

З наведених даних видно, що опір водопромоканню шкіряного велюру після модифікації збільшується у 50 разів, в той час як опір статистичному

намоканию протягом 2 і 24 год збільшується, відповідно, в 11 і 3 рази. Це може свідчити про суттєвий гідрофобізуючий ефект при використанні модифікуючої композиції. Це також підтверджує характер зміни фізико-механічних властивостей отриманого шкіряного велюру, що виражається в меншій різниці між показниками міцності матеріалу гідрофобізованих зразків у сухому і мокрому стані порівняно з вихідними зразками. Аналогічні ефекти спостерігаються і в деформаційних властивостях матеріалу. Водночас спостерігається кореляція і між показниками повітропроникності та пористості. Однак паропроникність модифікованих зразків неадекватно змінюється зі зміною їх пористості, оскільки механізм дифузії парів води обумовлений як характером розподілу пор за розмірами, так і ступенем гідрофобності поверхні пор.

Отже, характер зміни комплексу досліджених фізико-хімічних властивостей модифікованих вихідних зразків шкіряного велюру після його наповнення–жирування з використанням алкенмалеїнового полімеру свідчить про суттєве підвищення водостійкості отриманого шкіряного матеріалу.

Використання методу розпилення гідрофобізуючого алкенмалеїнового полімеру для хутрового велюру дало можливість спростити технологію його модифікації. В табл. 3 наведено результати дослідження властивостей модифікованого хутрового велюру овчини порівняно з емульсією індустріального масла I-12A з 10 мас. % поверхнево-активної речовини.

*Таблиця 3. Фізико-хімічні властивості хутрового велюру овчини*

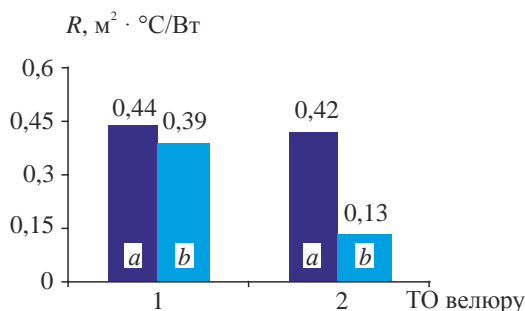
Показник	Пластифікатор	
	АМ полімер	I-12A
Водопромокання в динамічних умовах, хв	28,0	1,0
Намокання, %, через 2 год	30,0	58,0
Межа міцності, МПа, в стані:		
- сухому	10,6	8,2
- мокрому	10,3	7,4
Подовження при 4,9 МПа, %, в стані:		
- сухому	52,0	37,0
- після 24 год намокання	57,0	68,0
Подовження при розриванні, %, в стані:		
- сухому	62,0	60,0
- в мокрому стані	69,0	72,0
Повітропроникність, $10^{-6} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	0,29	0,25
Паропроникність, $10^{-6} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	5,3	6,4
Пористість, %	64,0	57,0

Динамічне водопромокання модифікованого хутрового велюру в 28 разів стійкіше для зразків хутрової овчини, отриманої за промисловою технологією, але у 3,2 раза поступається модифікованим зразкам шкіри. Це пояснюється особливостями технологій модифікації шкіряного і хутрового велюру при суттєво більшій товщині шкіряного матеріалу. Досягнутий ефект зумовлений також двосторонньою дифузією гідрофобізуючого полімеру в структуру напівфабрикату в першому випадку й односторонньою — у другому.

Про гідрофобний ефект модифікуючого полімеру для хутрового велюру також свідчить менше значення між показниками міцності й деформації для

гідрофобізованого та звичайного жирування до і після гідрооброблення. При цьому збільшення абсолютних значень деформації у мокрому стані зумовлене вищим ступенем орієнтації елементів структури шкірної тканини при деформуванні матеріалу. Як і для шкіряного велюру величини повітро- і паропроникності змінюються неадекватно одна відносно одної. Водночас гідрофобізований хутровий велюр характеризується вищим значенням пористості в результаті формування структури шкірної тканини з більшим ефектом диспергування її елементів при використанні АМ полімеру.

Суттєвий вплив на теплозахисні властивості хутрового велюру має стан волосяного покриву. Про це свідчить незначна різниця сумарного теплового опору гідрофобізованого хутрового велюру до і після гідрооброблення. В той час як хутровий велюр, отриманий жируванням напівфабрикату емульсією I-12A, характеризується зменшенням цього показника в 3,2 раза (рис. 1).



**Рис. 1.** Залежність сумарного теплового опору ( $R$ ) від типу оброблення (ТО) іа стану хутрового велюру: 1 — АМ полімер; 2 — I-12A+ПІАР;  $a$  — до гідрооброблення;  $b$  — після гідрооброблення

Теплозахисний ефект гідрофобізованого хутрового велюру зумовлений суттєвим вкладом гідрофобізації шкірної тканини, яка захищає волосяний покрив від намокання, в теплоізоляційні властивості модифікованого хутрового велюру. Такий хутровий матеріал при використанні для одягових виробів надає їм підвищених теплозахисних властивостей у процесі їх експлуатації.

Отже, завдяки гідрофобізації колагену дерми з використанням алкенмалеїнового полімеру можна отримати шкіряні та хутрові матеріали з підвищеною їх стійкістю до водопомокання.

### Висновки

Розроблені технології отримання підвищеної водостійкості шкіряного велюру зі шкур великої рогатої худоби — бичка і хутрового велюру з напівгрубошерстої овчини з використанням алкенмалеїнового полімеру, що відрізняються способом використання гідрофобізуючого реагенту. При формуванні шкіряного велюру гідрофобізуючий реагент використовувався у технологічному розчині на стадії наповнювання-жирування, а для хутрового велюру — шляхом його розпилювання.

Встановлено, що модифікований шкіряний велюр характеризується меншим значенням динамічного водопомокання у 50 разів порівняно з викорис-

танням аніоноактивного жирувального реагенту «Провол WA», що використовується в технології виготовлення еластичних шкір. Характер зміни комплексу фізико-хімічних властивостей отриманого матеріалу свідчить про суттєвий гідрофобізуючий ефект алкенмалеїнового полімеру при формуванні матеріалу підвищеної водостійкості. Підвищення теплозахисних властивостей і стабільність фізико-хімічних показників хутрового велюру в умовах високої вологості обумовлено диспергуючо-гідрофобізуючою дією на структуру шкірної тканини алкенмалеїнового полімеру.

Отримані результати з формування шкіряних і хутрових велюрових матеріалів для виготовлення взуттєвих і одягових виробів дають підстави для проведення технологічних випробувань у напіввиробничих умовах і виготовлення виробів для експлуатації в умовах підвищеної вологості.

### **Список літератури**

1. Николаенко Г. Р. Современные методы гидрофобизации натуральных материалов лёгкой промышленности. *Вестник Казанского технического университета*. 2014. С. 79—83.
2. Meyndt Renate, Germann Heinz-Peter. The hydrophobing of chrome-free leather. *World Leather*. 2007. No 8. 49—50, 52—54.
3. Низамова З. К., Калинин М. В., Евсюкова Н. В. и др. Оценка эффективности препаратов для поверхностной гидрофобизации спилка. *Кожевенно-обувная промышленность*. 2012. № 2. С. 18—19.
4. Евсюкова Н. В., Воробьёва И. В., Полухина Л. М. и др. Гидрофобизация кожевенно-мехового полуфабриката фторсодержащими функциональными силанами и силксанами. *Дизайн и технологии*. 2009. № 11. С. 68—72.
5. Джураев А. М., Кадиров Т. Ж., Тошев А. Ю. Влияние гидрофобизации на эксплуатационные свойства кож для верха обуви. *Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование*. 2015. С. 48—54.
6. Ермоленко Н. В. О влиянии фторсодержащего соединения на гидрофобные свойства кожи. *Кожевенно-обувная промышленность*. 2003. № 3. С. 30—31.
7. Vania F. M. Silva, Mayerlys Moncada, Antonio Crispim, T. Cruz, Filipe Crispim. Studies on waterproofing wet-white leather. *Leather and Footwear Journal*. 2018. 18(2):149—152. <https://doi.org/10.24264/lfj.18.2.10>.
8. Du J., Huang C., Pen B. Influence of hydrophobic side chain structure on the performance of amphiphilic acrylate copolymers in leather-making. *SLTC journal*, V. 100, 2. 2016. P. 67—72.
9. Casas C., Bou J., Ollé L., Bacardit A. Development of nanocomposites with self-cleaning properties for textile and leather. *SLTC journal*, V. 102, 1. 2018. P. 33—41.
10. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра: 2 вид., перероб. і доп.: навч. посіб. Київ: Фенікс, 2006. 340 с.

**NON-TRADITIONAL PRODUCERS OF SURFACTANTS****T. Pirog, A. Martynuik, Yu. Penchuk***National University of Food Technologies***F. Muchnik***Zabolotny Institute of Microbiology and Virology**National Academy of Sciences of Ukraine*

---

**Key words:**

*Marine bacteria  
microorganisms  
Isolated from plant raw  
materials  
Non-contaminated soil  
xenobiotics  
Surfactants*

---

**Article history:**

Received 02.09.2019

Received in revised form

17.09.2019

Accepted 30.09.2019

**Corresponding author:**

T. Pirog

**E-mail:**

npuht@ukr.net

**ABSTRACT**

---

Now surfactants of microbial origin through a number of advantages (low toxicity, biodegradability, stability in a wide range of pH and temperature) are competitive at the market for chemical compounds. Such advantages, as well as unique biological properties (antimicrobial and anti-adhesive activity, ability to destroy biofilms) make them potential for use in food, pharmaceutical industry, agriculture and medicine. Until recent time, most producers of microbial surfactants (in particular, trehalose- and rhamnolipids) were isolated from ecosystems contaminated with xenobiotics (mainly oil and other hydrocarbons). However, in recent years, interest in non-traditional producers of biologically active substances has significantly increased, which surviving in specific, often close to extreme, habitats, synthesize metabolites with unique properties. So, microorganisms isolated from saline soils or marine ecosystems synthesize surfactants, which physicochemical properties (surface and interfacial tension, emulsification index) are stable over a wide range of sodium chloride concentrations (up to 10—30%), temperature (4—100°C) and pH (2—12). The combination of these properties allows to consider such surfactants as promising for the bioremediation of marine areas and saline soil from xenobiotics. In addition to the ability to emulsify and solubilize various hydrocarbons, surfactants, synthesized by non-traditional producers, isolated from soil not contaminated by xenobiotics, plants and plant residues, marine ecosystems, also characterized by antimicrobial, anti-adhesive and antioxidant activity, as well as the ability to destroy biofilms of pathogenic microorganisms.

However, nowadays most of non-traditional producers of surfactants require expensive nutrient media with carbohydrates as carbon sources and synthesize the final product in much lower concentrations than traditional ones. Therefore, an urgent problem is the development of highly efficient technologies for their biosynthesis, one of the ways to solve which could be the use of industrial waste as substrates for the production of these microbial synthesis products.

## НЕТРАДИЦІЙНІ ПРОДУЦЕНТИ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Т. П. Пирог, А. О. Мартинюк, Ю. М. Пенчук

*Національний університет харчових технологій*

**Ф. В. Мучник**

*Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного*

*Національної академії наук України*

*Нині поверхнево-активні речовини (ПАР) мікробного походження через ряд переваг (низька токсичність, біодеградабельність, стабільність у широкому діапазоні рН і температури) є конкурентоспроможними на ринку хімічних сполук. Такі переваги, а також унікальні біологічні властивості (антимікробна та антиадгезивна активність, здатність до руйнування біоплівки) роблять їх потенційними для використання у харчовій, фармацевтичній промисловості, сільському господарстві та медицині. Дотепер більшість продуцентів мікробних ПАР (зокрема трегалозо- і рамноліпідів) була ізольована із забруднених ксенобіотиками (здебільшого нафта чи інші вуглеводні) екосистем.*

*Проте останніми роками істотно підвищився інтерес до нетрадиційних продуцентів біологічно активних речовин, які під час виживання в специфічних, часто наближених до екстремальних, місцях існування синтезують метаболіти з унікальними властивостями. Так, ізольовані із засолених ґрунтів чи морських екосистем мікроорганізми синтезують ПАР, фізико-хімічні властивості яких (поверхневий і міжфазний натяг, індекс емульгування) є стабільними у широкому діапазоні концентрацій натрій хлориду (до 10—30%), температури (4—100°C) і рН (2—12). Сукупність цих властивостей дає змогу розглядати такі поверхнево-активні речовини як перспективні для біоремедації морських акваторій та засолених ґрунтів від ксенобіотиків. Крім здатності до емульгування та солюбілізації різних вуглеводнів, поверхнево-активним речовинам, синтезованим нетрадиційними продуцентами, які виділені з незабруднених ксенобіотиками ґрунтів, рослин і рослинних залишків, морських екосистем, притаманна також антимікробна, антиадгезивна й антиоксидантна активність, а також здатність до руйнування біоплівки патогенних мікроорганізмів.*

*Більшість нетрадиційних продуцентів ПАР потребують високовартісних поживних середовищ з вуглеводними джерелами вуглецю і синтезують цільовий продукт у значно нижчих концентраціях порівняно з традиційними. Тому актуальною проблемою сьогодення є розробка високоефективних технологій їх біосинтезу, одним з шляхів вирішення якої може бути використання промислових відходів як субстратів для одержання цих продуктів мікробного синтезу.*

**Ключові слова:** морські бактерії, мікроорганізми, ізольовані з рослинної сировини, незабруднені ксенобіотиками ґрунти, поверхнево-активні речовини.

**Постановка проблеми.** Біодеградательні та нетоксичні мікробні поверхнево-активні речовини (ПАР) мультифункціонального призначення завдяки поверхнево-активним, емульгуювальним властивостям, антимікробній та антиадгезивній активності є гідною альтернативою хімічним ПАР для використання у різних галузях промисловості, медицині, а також у природоохоронних технологіях [1—3].

Дослідження мікробних ПАР має тривалу історію. Так, у 1968 р. встановлено здатність *Bacillus subtilis* AMS-H2O-1 синтезувати ліпопептид сурфактин [4], у 1977 р. відкрито синтез ліпопептиду і туринау *B. subtilis* DS-104 [5], перші відомості про рамноліпіди з'явилися ще у 40-і роки ХХ ст. [6]. Софороліпіди вперше були описані у 70—80 рр. ХХ ст. [7; 8].

Натепер відомо, що традиційними продуцентами поверхнево-активних ліпопептидів є бактерії роду *Bacillus* (*Paenibacillus*), рамноліпідів — *Pseudomonas*, трегалозоліпідів — *Rhodococcus*, софороліпідів і манозилеритритоліпідів — дріжджів родів *Candida* (*Starmerella*) і *Pseudozyma* відповідно [1; 9; 10]. Більшість продуцентів мікробних ПАР (зокрема трегалозоліпідів і рамноліпідів) було ізольовано із забруднених ксенобіотиками (здебільшого нафта чи інші вуглеводні) екосистем [1—3].

З кінця ХХ ст. активно досліджуються метаболіти мікроорганізмів, які існують у місцях, де раніше пошук продуцентів біологічно активних сполук не здійснювався (вічна мерзлота, гарячі джерела, морські глибини, солончаки тощо) [11]. Цілком імовірно, що здатність до виживання у таких місцях існування зумовлена наявністю специфічних адаптаційних механізмів та синтезом захисних сполук з новими унікальними властивостями, якими можуть бути і поверхнево-активні речовини.

У літературі такі продуценти називаються екстремофілами або мікроорганізмами, виділеними з екстремальних місць існування [12]. На нашу думку, вживання термінів «екстремофіл» та «екстремальний» у цьому разі є не зовсім доречним, оскільки у мікробіології екстремальними називають умови, в яких виживають лише спеціалізовані мікроорганізми і гинуть представники багатьох інших таксономічних груп. Тож у пропонованому огляді такі продуценти будемо називати «нетрадиційними».

**Мета дослідження:** узагальнення наявної на теперішній час інформації щодо синтезу поверхнево-активних речовин нетрадиційними продуцентами, виділеними з різних місць існування, а також властивостей ПАР, що зумовлюють їх потенційне практичне застосування.

**Викладення основних результатів дослідження.** Для систематизації матеріалу різні нетрадиційні продуценти поверхнево-активних речовин будуть згруповані залежно від місць їх виділення (грунт, морські екосистеми, рослини).

*Продуценти ПАР, виділені з ґрунту.* На відміну від традиційних продуцентів ПАР, ізольованих переважно із забруднених ксенобіотиками ґрунтів, автори у [13] повідомили про виділення з незабрудненого родючого ґрунту штаму дріжджів *Rhodotorula babjevae* YS3, який на середовищі з глюкозою (10%, масова частка) синтезував 19 г/л софороліпідів. ПАР штаму YS3 відрізнялися від софороліпідів, синтезованих традиційними продуцентами, високою антифунгальною активністю: мінімальні інгібуючі концентрації (МІК)

щодо *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium verticillioides* та *Fusarium oxysporum* становили 62—125 мкг/мл. Крім того, ПАР *R. babjevae* YS3 характеризувалися стабільністю в широкому діапазоні концентрації солі (3—10%), що дає змогу використовувати їх для біоремедіації солоних ґрунтів.

Іншим підходом до одержання мікробних ПАР для очищення від ксенобіотиків засолених ґрунтів є пошук продуцентів у відповідних місцях існування. Так, Silva із співавт. [14] виділили з незабрудненого солоного ґрунту штам *Bacillus* sp. TR13, здатний до синтезу 0,37 г/л ПАР (хімічний склад не вказаний) за умов росту на середовищі з 20 г/л глюкози та 50 г/л NaCl. Максимальне зниження поверхневого натягу (до 26,7 мН/м) супернатанту культуральної рідини спостерігалось за концентрації солі у середовищі культивування 175 г/л. Крім того, ПАР, синтезовані штамом TR13, ефективно знижували міжфазний натяг у системі гексадекан/вода, а також утворювали стабільну емульсію за концентрації NaCl до 150 г/л.

Як зазначається у [14], такі властивості мікробних ПАР є актуальними, оскільки емульсії, утворювані більшістю синтетичних поверхнево-активних речовин, є стабільними лише в діапазоні концентрацій NaCl від 20 до 30 г/л. Виявляється, що міжфазний натяг значною мірою залежить від концентрації солі в гідрофільній фазі. Цей параметр може суттєво змінити розчинність ПАР, що призводить до зміни їх розподілу між двома фазами. Крім того, існує оптимальна концентрація солі, що забезпечує такий розподіл молекул ПАР між гідрофобною та гідрофільною фазами, за якого спостерігається їх накопичення на поверхні розділу фаз олія/вода, а отже, і мінімальний міжфазний натяг. ПАР, синтезовані *Bacillus* sp. TR13, здатні до зниження міжфазного натягу та зменшення капілярних сил, що перешкоджають руху гідрофобних сполук (нафти) у пористих системах (ґрунт), що вказує на їх потенціал для використання в процесах біоремедіації ґрунтів.

Цікавими є дослідження Sriram із співавт. [15], які із забрудненого нафтою ґрунту виділили штам *Escherichia fergusonii* KLU01 і встановили його здатність до синтезу ліпопептидів (концентрація не вказана) на середовищі з 2% (об'ємна частка) дизелю. Зазначимо, що до цього повідомлення такі штами виділялися переважно з клінічних зразків і не досліджувалися з точки зору синтезу практично цінних метаболітів. Дослідники у [15] показали, що ПАР *E. fergusonii* KLU01 залишалися стабільними за концентрації солі 7%. Крім того, синтезовані ліпопептиди зберігали свою активність за наявності солей CaCl<sub>2</sub> та MgCl<sub>2</sub> у концентрації 2 і 40 ммоль/л відповідно, а також важких металів (свинець, нікель, мідь і цинк). Такі властивості ПАР *E. fergusonii* KLU01 роблять їх перспективними для біоремедіації доквілля не лише від нафтових, а й комплексних з важкими металам забруднень.

*Продуценти, ізольовані з рослинної сировини.* Пошук і вивчення мікроорганізмів, що продукують біологічно активні речовини, в тому числі й ПАР, у місцях існування, близьких до екстремальних, становлять особливий інтерес для промисловості, оскільки їх властивості залишаються стабільними у специфічних умовах, наприклад, середовищах з високим осмотичним тиском (фруктові соки та сиропи, нектари рослин) [16; 17]. Крім високої концен-

трації цукру нектар містить амінокислоти та ефірні масла, а також невелику кількість ліпідів, алкалоїдів, антиоксидантів, пігментів, полісахаридів та вітамінів.

Вен із співавт. [16] з нектару орхідей *Epipactis helleborine* виділили штам *Pseudomonas fragi* ST12.14/522, який на середовищі з 5% (об'ємна частка) соняшникової олії утворював суміш ди- і моногліцеридів. Дослідження [13] є першим, у якому повідомляється про нектарові середовища як нові джерела для виділення продуцентів не лише ПАР, а й взагалі будь-яких мікробних метаболітів.

Штам грибів *Aspergillus flavus* AF612, ізолюваний з цитрусових фруктів, синтезував на середовищі з глюкозою нові за хімічною структурою гліколіпіди [17]. Вивчення хімічного складу цих ПАР показало, що вони являють собою дві фракції метоксифенілоксимглікозидів (Uzmaq-A і Uzmaq-B). Uzmaq-A складається з метоксифенілоксиму, ковалентно зв'язаного з моносахаридом 3,6-ангідрогалактози, а до складу Uzmaq-B входить лише дисахарид 3,6-ангідрогалактози. Як зазначають автори у [17], похідні феноксимів є ефективними антидотами нервового газу, що засвідчує потенційну сферу застосування цього комплексу ПАР. Крім того, гліколіпіди штаму AF612 у концентрації 5 мг/мл проявляли антифугальну активність щодо *Aspergillus niger* та *Neurospora* spp.

У [18] йдеться про виділення з лишайників Амазонії штаму *Streptomyces* sp. DPUA1559, який у середовищі з 1% (об'ємна частка) відпрацьованої соєвої олії синтезував 2,2 г/л глікопротеїнів. Ці ПАР були стабільними за концентрації солі до 12% та знижували поверхневий натяг води до 33,3 мН/м. Крім того, глікопротеїни штаму DPUA1559 не виявляли токсичності щодо мікро-ракоподібних *Artemia salina*, а також насіння салату *Lactuca sativa* та капусти *Brassica oleracea*.

Дослідники із засохлого листя виділили штам *Candida floricola* ZM1502, який за умов росту у середовищі з 20 г/л гліцерину утворював 3,5 г/л софороліпідів [19]. Цікавим є те, що штам синтезував лише кислотну форму софороліпиду, в той час як традиційні софороліпід-продукуючі дріжджі *Starmerella bombicola* утворюють переважно лактонну форму ПАР і лише невелику кількість кислотної. Відсутність лактонної форми софороліпиду в комплексі ПАР штаму *C. floricola* ZM1502 зумовлена відсутністю у цього штаму специфічної лактонтестерази, що каталізує в 4'-положенні внутрішню етерифікацію софорозози і карбоксильних груп жирної кислоти. У [19] зазначається, що великий вміст лактонної форми у складі комплексу знижує розчинність софороліпідів у воді й обмежує їх застосування.

Упродовж 2012—2014 рр. з'явилася інформація [20—23] про виділення з опадів мангрових лісів на півдні Таїланду кількох штамів — нетрадиційних продуцентів ПАР. Так, штам *Oleomonas sagaranensis* AT18 у процесі культивування на середовищі з мелясою і нітратом натрію синтезував 5,3 г/л ПАР гліколіпідної природи, які характеризувалися широким спектром антимікробної активності і здатністю до емульгування нафти та солюбілізації поліциклічних ароматичних сполук [20]. Такі самі властивості були притаманні ліпопептидним ПАР, синтезованим *Selenomonas ruminantium* CT2 [21] і гліколіпідам, утворюваним *Ochrobactrum anthropi* 2/3 [22]. За умов росту

*S. ruminantium* СТ2 на мелясі (15 г/л) з використанням як джерела азоту глутамату натрію (1 г/л) концентрація ПАР досягала 5,02 г/л [21]. Штам *O. anthropi* 2/3 синтезував 4,52 г/л на середовищі, що містило 25% (об'ємна частка) відпрацьованої пальмової олії і 1% (масова частка) глутамату натрію [22]. У [23] повідомляється про штам *Deinococcus caeni* PO5, який синтезував гліколіпідні ПАР на середовищі з новим дешевим субстратом — подрібненим насінням джекфруту (індійське хлібне дерево). Крім властивостей, притаманних ПАР, описаним у [20—22], поверхнево-активні гліколіпіди *D. caeni* PO5 утворювали стабільні емульсії з різними вуглеводнями, а також характеризувалися здатністю зв'язувати катіони важких металів.

У 2017 р. Meneses із співавт. [24] вперше встановили здатність до синтезу поверхнево-активних речовин дріжджоподібних грибів *Aureobasidium thalaidense* LB01, виділеного з плодоніжки дерева кеш'ю. За хімічною природою синтезовані ПАР виявилися близькими до ефіру лауринової кислоти. Як джерело вуглецю дослідники використовували різноманітні дешеві субстрати (стічні води виробництва оливкової олії, мелясу, кукурудзяний екстракт). Щоправда, концентрація синтезованих штамом LB01 ПАР була невисокою і не перевищувала 170 мг/л. У [24] зазначається, що ПАР *A. thalaidense* LB01 характеризувалися вищою порівняно із синтетичними поверхнево-активними речовинами здатністю до диспергування нафти, що дає змогу рекомендувати їх для біоремедації довкілля.

У 2016 р. з'явилось повідомлення [25] про виділення з рисового лушпиння гриба *Mucor indicus* (номер штаму не вказано), здатного до синтезу невисоких концентрацій гліколіпідних ПАР (100—150 мг/л) з емульгувальними властивостями на гідролізованому лушпинні рису.

Burch із співавт. [26] встановили, що серед епіфітних бактерій-продуцентів ПАР, ізольованих з листя шпинату, римського салату і салату латук, домінуючими були псевдомонади і представники рідкісного роду *Chryseobacterium*. Однак автори не досліджували рівень синтезу ПАР та їх фізико-хімічні властивості.

*Морські екосистеми як джерело продуцентів ПАР.* Тривала еволюція морського життя привела до появи видів з атиповими генами. Морські мікроорганізми повинні були пристосовуватися до таких умов існування, як високий тиск (до 1100 атм), анаеробні умови на великій глибині при температурі трохи нижче 0°C, висока кислотність (рН 2,8) і температура (понад 100°C) в районі гідротерм [27]. Крім того, необхідною була адаптація до високої солоності, радіації, світла, низьких концентрацій поживних речовин. Існування в умовах, близьких до екстремальних, сприяло генетичному та метаболічному різноманіттю морських мікроорганізмів. Нині встановлено, що морські мікроорганізми здатні синтезувати величезну кількість унікальних метаболітів з різноманітними біологічними властивостями, які є перспективними для використання у фармацевтичній та косметичній галузі, медицині [28].

Разом з тим аналіз літературних даних щодо фізико-хімічних і біологічних властивостей ПАР, синтезованих морськими мікроорганізмами, показав, що вони практично не відрізняються від встановлених для поверхнево-активних

речовин, утворюваних традиційними продуцентами. Так, за хімічною природою більшість ПАР морських мікроорганізмів є гліколіпідами або ліпопептидами [29—47], їм притаманна антимікробна [29—33; 43—45], антиадгезивна [30; 31] й антиоксидантна [43] активність, а також здатність до руйнування біоплівки патогенних мікроорганізмів [29—32; 44], емульгування та солюбілізації різних вуглеводнів [33—37; 39—42; 47].

Зазначимо, що у [29—49] здатність до синтезу ПАР оцінювали здебільшого за показниками індексу емульгування, поверхневого натягу, критичної концентрації міцелоутворювання, що вказує лише на наявність поверхнево-активних речовин, а не їх кількість. Тому оцінити рівень синтезувальної здатності морських мікроорганізмів і порівняти з такою традиційних продуцентів ПАР неможливо. Крім того, у цих працях акцентовано увагу на властивостях ПАР з метою прогнозування перспектив їх практичної значущості. З такої точки зору ми і будемо характеризувати гліколіпіди і ліпопептиди морських мікроорганізмів.

*Гліколіпіди, синтезовані морськими мікроорганізмами.* У [29] встановлено, що морський галотолерантний штам ентеробактерій *Buttiauxella sp.* M44 синтезує гліколіпід, що складається з глюкопіранози, зв'язаної з жирними кислотами C<sub>14</sub>, C<sub>16</sub> і C<sub>18</sub>, в тому числі й октадекановою кислотою. Гліколіпід характеризувався антимікробною активністю щодо деяких патогенів (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Salmonella enterica*): мінімальні інгібуючі концентрації перебували в межах 100—300 (мкг/мл).

Dusane із співавт. [30] повідомили про гліколіпід, синтезований іншим представником морських ентеробактерій *Serratia marcescens* CFS, якому притаманна антимікробна й антиадгезивна активність. У складі гліколіпіду виявлено глюкозу та пальмітинову кислоту. МІК цього ПАР щодо *C. albicans* ВН і *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 становили 25 мкг/мл, щодо *Bacillus pumilus* TiO1 — 12,5 мкг/мл. Гліколіпід штаму CFS у концентрації 50—100 мкг/мл знижував на 75—94% адгезію цих тест-культур на полістиролі і руйнував на 55—80% їх біоплівки.

Цікавим є повідомлення [31] про підвищення синтезу ПАР у разі спільного культивування продуцента *Staphylococcus lentus* SZ2, виділеного з поверхні морського равлика, з патогеном аквакультур *Vibrio harveyi*. Під кінець спільного культивування обох штамів ріст *V. harveyi* повністю пригнічувався, а утворюваний за таких умов ПАР (названий BS-SLSZ2) характеризувався вищою антиадгезивною активністю і здатністю до руйнування біоплівки порівняно з препаратом, утворюваним монокультурою *S. lentus* SZ2. За хімічною природою BS-SLSZ2 є гліколіпідом: у складі виявлена треоза (чотириуглецевий вуглевод), а також гексадеканова і октадеканова кислоти. Гліколіпід BS-SLSZ2 у концентрації 20 мкг/мл руйнував біоплівки *V. harveyi* і *P. aeruginosa* на 78,7 і 81,7% відповідно. Недоліком штаму SZ2 як продуцента ПАР є невисока концентрація цільового продукту, яка навіть у разі спільного культивування з *V. harveyi* не перевищувала 70 мг/л [31].

Ще одним представником роду *Staphylococcus*, який синтезує гліколіпід із схожими біологічними властивостями, є виділений з забруднених нафтою прибережних вод штам *Staphylococcus saprophyticus* SBPS-15 [32]. ПАР штаму SBPS-15, у складі якого виявлена маноза та олеїнова кислота, отримав назву стафілозан. За концентрації стафілозану 200—400 мкг/мл спостерігали повне руйнування біоплівки *P. aeruginosa* ВНКН-19 та *Serratia liquefaciens* ВНКН-23. Деструкція біоплівок *Acinetobacter beijerinckii* ВНКН-11, *Micrococcus luteus* ВНКН-39, *B. subtilis* ВНКН-7 і *Marinobacter lipolyticus* ВНКН-31 на 93, 91, 90 і 85% відповідно досягалася за концентрації ПАР 400 мкг/мл.

Окрім антимікробної активності, гліколіпідам морських мікроорганізмів притаманні емульгувальні властивості, завдяки чому вони можуть бути перспективними для деградації нафтових забруднень та поліциклічних ароматичних вуглеводнів [34—39].

У [34] встановлено, що виділений з глибоководних термальних вод штам *Dietzia maris* As-13-3 синтезував рамноліпіди під час культивування на вуглеводнях, оливковій олії, гліцерині та глюкозі. За умов росту штаму As-13-3 на тетрадекані, гексадекані і пристані поверхневий натяг знижувався до 33—35 мН/м. Рамноліпіди утворювали стабільні емульсії з толуеном, гексаном, циклогексаном, гексадеканом, пристаном і дизелем: індекс емульгування становив 54—64%. У [34] зазначається, що перевагою *D. maris* As-13-3 як продуцента рамноліпідів для біоремедіації доквілля є непатогенність штаму.

*Halomonas* sp. MB-30, ізольований з морської губки, синтезував гліколіпіди за умов росту як на глюкозі, так і вуглеводнях (зниження поверхневого натягу до 30 мН/м) [37]. Індекс емульгування гліколіпідів з використанням як субстрату сирової нафти становив 93,1%, гасу — 86,6%. Емульсії залишалися стабільними упродовж місяця і утворювалися при температурі понад 80°C, pH  $\geq$  7,0 і концентрації NaCl до 10%. За наявності частково очищеного ПАР *Halomonas* sp. MB-30 ступінь відмивання нафти з піску становив 62%. У [37] зазначається, що гліколіпіди штаму MB-30 є перспективними для підвищення нафтовидобутку і біоремедіації вуглеводнів в екстремальних умовах.

У [36] повідомляється про виділення з морської води штаму *Nocardiopsis* sp. VITSISB, який синтезував рамноліпіди на олієвмісному середовищі. На модельній системі, яка імітувала розлив машинного мастила в океані, дослідники встановили можливість використання іммобілізованих в Ca<sup>2+</sup>-альгінатних кульках клітин штаму VITSISB для біоремедіації цього ксенобіотика. Щоправда, деструкція машинного мастила відбувалася за наявності у водному середовищі соку цукрової тростини та соєвого шроту як джерел вуглецю й азоту відповідно. Рамноліпіди штаму *Nocardiopsis* sp. VITSISB виявилися стабільними в діапазоні температури 5—100°C, pH 2—12, і концентрацій натрій хлориду 3—10%. Автори [36] вважають рамноліпід-продукуючий штам VITSISB перспективним для ліквідації розливів нафти в океані.

Узагальнену інформацію про гліколіпіди, синтезовані морськими мікроорганізмами, наведено у табл. 1. Ці дані засвідчують, що морські мікроорганізми синтезують гліколіпіди на різних субстратах, проте переважно на достатньо високовартісних (вуглеводи, гексадекан, очищений гліцерин). Стійкість

ПАР і утворюваних ними емульсій у широкому діапазоні температури, рН і солоності значно розширюють сфери їх потенційного практичного застосування у природоохоронних технологіях для біоремедіації довкілля, а також як антимікробних та антиадгезивних агентів.

*Ліпопептиди морських мікроорганізмів.* Ліпопептиди складаються з ліпідної частини, з'єднаної з коротким лінійним або циклічним олігопептидом [1]. Дані, наведені у [40—47], показують, що більшість ліпопептидних ПАР морських мікроорганізмів розглядаються як перспективні для використання у процесах біоремедіації й усунення екологічних проблем.

*Таблиця 1. Синтез гліколіпідів морськими мікроорганізмами*

Продуцент	Джерело виділення	Температура вирощування	Джерело вуглецю, г/л	Фізико-хімічні властивості		Перспективи практичного використання	Література
				Склад	Стабільність		
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Vibrio</i> sp.3B-2	Морські донні відкладення	28°C	Лактоза, 5	—	—	Біоремедіація, підвищення нафтовидобутку	[35]
<i>Buttiauxella</i> sp. M44	Прибережні води	33°C	Меляса, 10	Глюкопіраноза, октадеканова кислота	20—60°C, рН 7—8, солоність до 3%	Антимікробна активність	[29]
<i>Dietzia maris</i> As-13-3	Глибководні гідротерми	28°C	Гексадекан, 20	Рамноліпід	—	Емульгатор, біоремедіація, деградація вуглеводнів.	[34]
<i>Staphylococcus lentus</i> SZ2	Поверхня морського равлика	30°C	Гідролізат казеїн, 10	Треоза, гексадеканова, октадеканова кислоти	—	Деструкція біоплівок, антимікробна і антиадгезивна активність	[31]
<i>Serratia marcescens</i> CFS	Морський корал <i>Symphyllia</i> sp.	30°C	Пептон, 5	—	—	Руйнування біоплівок, антимікробна та антиадгезивна активність	[30]
<i>Staphylococcus saprophyticus</i> SBPS-15	Забруднені нафтою прибережні зони	37°C	Глюкоза, 20	маноза, олеїнова кислота	4—80°C, рН 3—9	Руйнування біоплівок, антимікробна та антиадгезивна активність	[32]
<i>Nocardiopsis</i> sp. VITSISB	Морська вода	37°C	Олія, 0,5% (об'ємна частка)	Рамноліпід	5—100°C, рН 2—12, солоність 3—10%	Біоремедіація, розкладання нафти і машинного мастила	[36]

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Halomonas</i> sp. MB-30	Морська губка	30°C	Нафта, 2 % (об'ємна частка)	—	5—100°C, pH 2—12, солоність 3—10%	Біоремедіація, підвищення нафтовидобутку	[37]
<i>Streptomyces</i> sp. MAV36	Морські донні відкладе- ння	—	Крохмаль, 15,8 Нафта, 16 мл/л	гліколіпід	30—50°C, pH 5—9, солоність 1,5%	Біоремедіація, антимікробна активність	[33]
<i>Rhodococcus</i> sp. PML026	Морська вода	30°C	Соняшник ова олія, 2% (об'ємна частка)	Трегалозоліпід	20—100°C, pH 2—10, солоність до 25%	Біоремедіація	[39]
<i>Aureobasidium pullulans</i> УТР6-14	Морська вода	30°C	Глюкоза, 50 Гліцерин, 2,5%	гліколіпід	4—100°C, pH 2—12 солоність до 12%	Емульгатор	[38]

Примітка: «—» — даних немає.

Відомо, що синтез ліпопептидів традиційними продуцентами (представниками родів *Bacillus* та *Pseudomonas*) здійснюється в основному з використанням вуглеводних субстратів. Так само й морські мікроорганізми здатні синтезувати ліпопептиди за умов росту на вуглеводах [44; 45; 48], але багато які з них здатні метаболізувати агропромислові відходи і відходи інших виробництв [40; 42; 43].

Mani із співавт. [40] виділили з морських відкладень штам *Bacillus simplex* SBN19, який на різних відпрацьованих оліях синтезував ПАР ліпопептидної природи. Максимальна концентрація ПАР (908 мг/л) досягалася за умов росту штаму SBN19 на пересмаженій соняшниковій олії. Встановлено, що за наявності очищеного ліпопептиду (100 мг/л) через 24 год ступінь відмивання нафти із забрудненого піску (5 мл нафти на 100 г піску) в діапазоні солоності 0—30% становив 80—85% (за максимальної солоності — 84,7%).

У [41] встановлено, що *Bacillus stratosphericus* FLU5, ізольований із забрудненої нафтою морської води, синтезував ПАР на широкому наборі вуглецевих субстратів (сира нафта, дизельне паливо, моторне мастило, відпрацьоване моторне мастило, кукурудзяна й оливкова олія, пересмажена олія і гліцерин). Показники синтезу ПАР були найвищими (1,88—2,25 г/л) у процесі вирощування штаму на олієвмісних субстратах. За хімічною природою ліпопептиди *B. stratosphericus* FLU5 є комплексом сурфактину та пумілацидіну. Ліпопептидний комплекс проявляв стабільність у широких межах pH (2—12), температури (4—121°C) та концентрації NaCl (0—25%). За наявності супернатанту після культивування штаму FLU5 на пересмаженій олії ремобілізація вуглеводнів моторного масла (20%) із забрудненого ґрунту була у кілька разів вищою порівняно з використанням синтетичних поверхнево-активних речовин (Tween 20, Tween 80, Triton X-100 і SDS).

Vilela з співавт. [42] виділили з морських безхребетних штам *Brevibacterium luteolum*, який синтезував ПАР ліпопептидної природи за умов росту на мінеральній оліві. Індекс емульгування ПАР з різними вуглеводнями становив 60—79%. Ліпопептид виявляв здатність до очищення піску від нафти. За наявності 0,1% ПАР ступінь відмивання нафти (10%) з забрудненого піску через 6 год становив 83%.

У [43] повідомляється про штам *Nesterenkonia* sp. MSA31, виділений з морської губки *Fasciospongia cavernosa*, при вирощуванні на оливковій олії синтезував ліпопептид, який проявляв не тільки емульгувальну, а й антиоксидантну та антимікробну активність. Так, рівень нейтралізації 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразильного радикалу (ДФПГ) за концентрації ПАР 6 мг/мл становив 65%. За концентрації ПАР 125 мкг/мл було помітним руйнування біоплівки *Staphylococcus aureus*. Крім того, автори використовували ліпопептид штаму MSA31 як емульгатор у виробництві здоби з захисним ефектом проти *S. aureus*. Додавання ліпопептиду до тіста у концентрації 0,5—1% покращувало органолептичну якість готової продукції [43].

Дані, наведені у [44—46], засвідчують, що деякі морські мікроорганізми синтезують ліпопептидні ПАР на вуглеводних субстратах, зокрема, на глюкозі. Ці ліпопептиди проявляють не тільки антимікробну активність і антиадгезивну, а й протипухлинну активність [44].

Циклічний ліпопептидний ПАР псевдофактин II, синтезований арктичним штамом *Pseudomonas fluorescens* BD5 [48] може активувати апоптоз клітин меланоми A375 в результаті впливу міцел ПАР на проникність мембрани клітин, що супроводжувалося вивільненням лактатдегідрогенази і  $\text{Ca}^{2+}$  [44]. Цей ліпопептид знижував адгезію патогенних мікроорганізмів *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus hirae*, *Staphylococcus epidermidis*, *Proteus mirabilis* і *Candida albicans* на склі, полістиролі і силіконі, а також запобігав утворенню біоплівок на медичних матеріалах (катетери, імпланти, внутрішні протези) [49]. Попередня обробка полістиролу розчином псевдофактину II у концентрації 0,5 мг/мл знижувала адгезію бактеріальних тест-культур на 36—90%, а *C. albicans* — на 92—99%. Тож псевдофактин II може бути використаний як агент проти мікробної колонізації різних поверхонь, наприклад, імплантатів або уретральних катетерів [49].

Штам *Aneurinibacillus aneurinilyticus* SBP-11 [45] за умов росту на глюкозі синтезував ліпопептидний ПАР анеуриніфактин з високою антимікробною активністю щодо патогенних бактерій. Так, мінімальні інгібуючі концентрації анеуриніфактину становили (мкг/мл): *Klebsiella pneumoniae* — 4, *E. coli* — 8, *S. aureus* — 8, *P. aeruginosa* — 16, *B. subtilis* — 16, *Vibrio cholerae* — 16. Крім того, за концентрації 200 мг/л анеуриніфактину ступінь відмивання нафти з забрудненого піску (5 мл нафти на 100 г піску) через 24 год становив 81% [45].

У [47] автори досліджували можливість інтенсифікації синтезу ліпопептиду виділеним з морської губки штамом *Bacillus licheniformis* NIOTAMKV06. За умов росту штаму NIOTAMKV06 на глюкозі концентрація ПАР становила 1,8 г/л, після оптимізації складу поживного середовища підвищувалася до 3 г/л.

Використання як джерела вуглецю суміші 20 г/л глюкози та 2,5% нафти дало змогу збільшити кількість ПАР до 6 г/л. Автори одержали рекомбінантний штам *E. coli*, який синтезував 11,78 г/л ліпопептиду [47]. ПАР *B. Licheniformis* NIOTAMKV06 емульгував сиру нафту, гас і дизель. Дослідження [47] є першим, у якому повідомляється про високоактивний морський штам-продуцент ліпопептидів.

Deng із співавт. [46] виділили з забрудненої нафти морської води штам *Achromobacter* sp. HZ01, який на середовищі з гліцирином синтезував новий циклічний ліпопептид у концентрації 6 г/л. Цей ПАР утворював емульсії з кокосовою, арахісовою, кунжутною, соєвою, соняшnikовою, оливковою, кукурудзяною олією, гасом, дизельним паливом, причому емульсії характеризувалися високою стабільністю в діапазоні температури 40—100°C, рН 6—12, солоності 0—3%.

У [50] встановлено, що виділений з морських відкладень штам *Marinobacter* sp. M22.20 за умов росту у середовищі з 2% (об'ємна частка) соєвої олії синтезував фосфоліпопептиди (концентрація не вказана) з високою емульгувальною активністю. Емульсії були стабільними при зберіганні упродовж 30 місяців при концентрації NaCl 300 г/л, температурі 4°C і після теплової обробки 120°C, 20 хв.

Узагальнені дані про ліпопептиди, синтезовані морськими мікроорганізмами, наведено у табл. 2. Перевагами ліпопептидів порівняно з гліколіпідами (табл. 1) є можливість їх одержання у достатньо високих концентраціях на дешевих і наявних у великих кількостях промислових відходах.

*Таблиця 2. Синтез ліпопептидів морськими мікроорганізмами*

Продуцент	Джерело виділення	Температура культивування	Джерело вуглецю, г/л	Фізико-хімічні властивості	Перспективи використання	Література
1	2	3	4	5	6	7
<i>Bacillus stratosphericus</i> FLU5	Забруднена нафтою морська вода	37°C	Пересмажена олія (1%, об'ємна частка)	4—121°C, рН 2—12, солоність (0—25%)	Біоремедіація, деструкція моторного мастила	[41]
<i>Aneurinibacillus aneurinilyticus</i> SBP-11	Морські донні відкладення	37°C	Глюкоза, 1,5	4—80°C, рН 2—9	Антимікробна активність, підвищення нафтовидобутку	[45]
<i>Bacillus simplex</i> SBN19	Морські донні відкладення	37°C	Відпрацьована соняшnikова олія (2%, об'ємна частка)	Солоність до 30%	Біоремедіація, підвищення нафтовидобутку	[40]

1	2	3	4	5	6	7
<i>Pseudomonas fluorescens</i> BD5	Арктичний штам	37°C	Глюкоза, 20	—	Руйнування біоплівки, антимікробна, антиадгезивна і протипухлинна активність	[44; 48; 49]
<i>Brevibacterium luteolum</i>	Морські безхребетні	30°C	Мінеральна олива (2%, об'ємна частка)	4—100°C, рН 2—12, солоність (0—12%)	Біоремедіація, підвищення нафтовидобутку	[42]
<i>Bacillus licheniformis</i> NIOT-AMKV06	Морська губка	38°C	Глюкоза, 20 Нафта 2,5%	20—70°C, рН 5—10	Емульгатор. Біоремедіація, підвищення нафтовидобутку	[47]
<i>Achromobacter</i> sp. HZ01	Морська вода, забрудненою нафтою	28°C	Гліцерин, 40	40—100°C, рН 6—12, солоність (0—3%)	Біоремедіація. Емульгатор	[46]
<i>Nesterenkoia</i> sp. MSA31	Морська губка <i>Fasciospongia cavernosa</i>	28°C	Оливкова олія, 10	4—121°C, рН 6—9 солоність (0—10%)	Антиоксидантна та антимікробна активність. Емульгатор для харчової промисловості	[43]

Примітка: «—» — даних немає.

### Висновок

Вивчення ПАР нетрадиційних продуцентів, виділених із незабруднених ксенобіотиками ґрунтів, рослинної сировини, морських екосистем, є новим напрямком досліджень, який почав стрімко розвиватися впродовж останнього десятиліття. За цей час ізольовано значну кількість продуцентів, а також досліджено фізіологічну роль, фізико-хімічні властивості та можливі галузі практичного використання їх поверхнево-активних речовин. У той же час практичне впровадження ПАР стримується низькою ефективністю технологій їх одержання. Так, показники синтезу поверхнево-активних речовин для нетрадиційних продуцентів є набагато нижчими, ніж для традиційних. Вирішення цієї проблеми — це лише питання часу, адже на сьогодні вже розроблено різноманітні підходи метаболічної та генної інженерії для інтенсифікації технологій мікробного синтезу.

### Література

1. Santos D. K., Rufino R. D., Luna J. M., Santos V. A., Sarubbo L. A. Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century. *Int. J. Mol. Sci.* 2016, 17(3): 401. doi: 10.3390/ijms17030401.
2. Mnif I., Ghribi D. Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. *J. Sci. Food Agric.* 2016, 96(13): 4310—4320. doi: 10.1002/jsfa.7759.

3. De Almeida D. G., Soares Da Silva R. C., Luna J. M., Rufino R. D., Santos V. A., Banat I.M., Sarubbo L. A. Biosurfactants: promising molecules for petroleum biotechnology advances. *Front. Microbiol.* 2016, 7:1718. doi: 10.3389/fmicb.2016.01718.
4. Arima K., Kakinuma A., Tamura G. Surfactin, a crystalline peptidolipid surfactant produced by *Bacillus subtilis*: isolation, characterization and its inhibition of fibrin clot formation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1968, 31(3): 488—494.
5. Katz E., Demain A. L. The peptide antibiotics of *Bacillus*: chemistry, biogenesis, and possible functions. *Bacteriol. Rev.* 1977, 41(2): 449—474.
6. Jarvis F. G., Johnson M. J. A glyco-lipide produced by *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Am. Chem. Soc.* 1949, 71(12): 4124—4126.
7. Cutler A. J., Light R. J. Regulation of hydroxydocosanoic acid sophorolipid production in *Candida bogoriensis* by the levels of glucose and yeast extract in the growth medium. *J. Biol. Chem.* 1979, 254(6): 1944—1950.
8. Ito S., Inoue S. Sophorolipids from *Torulopsis bombicola*: possible relation to alkane uptake. *Appl. Environ. Microbiol.* 1982, 43(6): 1278—1283.
9. Pirog T.P., Konon A.D. Microbial surfactants. I. Glycolipids. *Biotechnologia Acta*, 2014, 7(1): 9—30. doi:10.15407/biotech7.01.009.
10. Pirog T. P., Konon A. D., Sofilkanych A. P. Microbial surfactants. II. Lipopeptides. *Biotechnologia Acta*, 2014, 7(2): 9—25. doi: 10.15407/biotech7.02.009.
11. Kamjam M., Sivalingam P., Deng Z., Hong K. Deep Sea Actinomycetes and Their Secondary Metabolites. *Front. Microbiol.* 2017, 8:760. doi: 10.3389/fmicb.2017.00760.
12. Nicolaus B., Kambourova M., Oner E. T. Extremophiles as sources of exopolysaccharides. *Environ. Technol.* 2010, 31(10): 1145—1158. doi: 10.1080/09593330903552094.
13. Sen S., Borah S. N., Bora A., Deka S. Production, characterization, and antifungal activity of a biosurfactant produced by *Rhodotorula babjevae* YS3. *Microb. Cell. Fact.* 2017, 16(1): 95. doi: 10.1186/s12934-017-0711-z.
14. da Silva F. S., Pylro V. S., Fernandes P. L., Barcelos G. S., Kalks K. H., Schaefer C. E., Tótola M. R. Unexplored Brazilian oceanic island host high salt tolerant biosurfactant-producing bacterial strains. *Extremophiles.* 2015, 19(3): 561—72. doi: 10.1007/s00792-015-0740-7.
15. Sriram M. I., Gayathiri S., Gnanaselvi U., Jenifer P. S., Mohan Raj S., Gurunathan S. Novel lipopeptide biosurfactant produced by hydrocarbon degrading and heavy metal tolerant bacterium *Escherichia fergusonii* KLU01 as a potential tool for bioremediation. *Bioresour. Technol.* 2011, 102(19): 9291—9295. doi: 10.1016/j.biortech.2011.06.094.
16. Ben Belgacem Z., Bijttebier S., Verreth C., Voorspoels S., Van de Voorde I., Aerts G., Willems K. A., Jacquemyn H., Ruyters S., Lievens B. Biosurfactant production by *Pseudomonas* strains isolated from floral nectar. *J. Appl. Microbiol.* 2015, 118(6): 1370—1384. doi: 10.1111/jam.12799.
17. Ishaq U., Akram M. S., Iqbal Z., Rafiq M., Akrem A., Nadeem M., Shafi F., Shafiq Z., Mahmood S., Baig M. A. Production and characterization of novel self-assembling biosurfactants from *Aspergillus flavus*. *J. Appl. Microbiol.* 2015, 119(4): 1035—1045. doi: 10.1111/jam.12929.
18. Santos A. P. P., Silva M. D. S., Costa E. V. L., Rufino R. D., Santos V. A., Ramos C. S., Sarubbo L. A., Porto A. L. F. Production and characterization of a biosurfactant produced by *Streptomyces* sp. DPUA 1559 isolated from lichens of the Amazon region. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 2017, 51(2):e6657. doi: 10.1590/1414-431X20176657.
19. Konishi M., Morita T., Fukuoka T., Imura T., Uemura S., Iwabuchi H., Kitamoto D. Selective Production of Acid form Sophorolipids from Glycerol by *Candida floricola*. *J. Oleo. Sci.* 2017, 66(12): 1365—1373. doi: 10.5650/jos.ess17116.
20. Saimmai A., Rukadee O., Onlamool T., Sobhon V., Maneerat S. Isolation and functional characterization of a biosurfactant produced by a new and promising strain of *Oleomonas sagaranensis* AT18. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2012, 28(10): 2973—2986. doi: 10.1007/s11274-012-1108-0.

21. Saimmai A., Onlamool T., Sobhon V., Maneerat S. An efficient biosurfactant-producing bacterium *Selenomonas ruminantium* CT2, isolated from mangrove sediment in south of Thailand. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2013, 29(1): 87–102. doi:10.1007/s11274-012-1161-8.
22. Noparat P., Maneerat S., Saimmai A. Utilization of palm oil decanter cake as a novel substrate for biosurfactant production from a new and promising strain of *Ochrobactrum anthropi* 2/3. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2014, 30(3): 865–877. doi:10.1007/s11274-013-1493-z.
23. Chooklin C. S., Petmeaun S., Maneerat S., Saimmai A. Isolation and characterization of a biosurfactant from *Deinococcus caeni* PO5 using jackfruit seed powder as a substrate. *Ann. Microbiol.* 2014, 64(3): 1007–1020. <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0738-2>.
24. Meneses D. P., Gudiña E. J., Fernandes F., Gonçalves L. R. B., Rodrigues L. R., Rodrigues S. The yeast-like fungus *Aureobasidium thailandense* LB01 produces a new biosurfactant using olive oil mill wastewater as an inducer. *Microbiol. Res.* 2017, 204: 40–47. doi: 10.1016/j.micres.2017.07.004.
25. Oje O. A., Okpashi V. E., Uzor J. C., Uma U. O., Irogbolu A. O., Onwurah I. N. E. Effect of Acid and Alkaline Pretreatment on the Production of Biosurfactant from Rice Husk Using *Mucor indicus*. *Res. J. Environ. Toxicol.* 2016, 10 (1): 60–67. doi: 10.3923/rjet.2016.60.67.
26. Burch A. Y., Do P. T., Sbdio A., Suslow T. V., Lindow S. E. High-Level Culturability of Epiphytic Bacteria and Frequency of Biosurfactant Producers on Leaves. *Appl. Environ. Microbiol.* 2016, 82(19): 5997–6009. doi: 10.1128/AEM.01751-16.
27. Subramani R., Sipkema D. Marine Rare Actinomycetes: A Promising Source of Structurally Diverse and Unique Novel Natural Products. *Mar Drugs.* 2019, 17(5). pii: E249. doi: 10.3390/md17050249.
28. Manivasagan P., Venkatesan J., Sivakumar K., Kim S. K. Marine actinobacterial metabolites: Current status and future perspectives. *Microbiol. Res.* 2013, 168(6): 311–332. doi: 10.1016/j.micres.2013.02.002.
29. Marzban A., Ebrahimipour G., Danesh A. Bioactivity of a Novel Glycolipid Produced by a Halophilic *Buttiauxella* sp. and Improving Submerged Fermentation Using a Response Surface Method. *Molecules.* 2016, 21(10). pii: E1256. doi:10.3390/molecules21101256.
30. Dusane D. H., Pawar V. S., Nancharaiah Y. V., Venugopalan V. P., Kumar A. R., Zinjarde S. S. Anti-biofilm potential of a glycolipid surfactant produced by a tropical marine strain of *Serratia marcescens*. *Biofouling.* 2011, 27(6): 645–654. doi: 10.1080/08927014.2011.594883.
31. Hamza F., Kumar A. R., Zinjarde S. Coculture induced improved production of biosurfactant by *Staphylococcus lentus* SZ2: Role in protecting *Artemia salina* against *Vibrio harveyi*. *Enzyme Microb. Technol.* 2018, 114: 33–39. doi:10.1016/j.enzmictec.2018.03.008.
32. Balan S. S., Mani P., Kumar C. G., Jayalakshmi S. Structural characterization and biological evaluation of Staphylosan (dimannooleate), a new glycolipid surfactant produced by a marine *Staphylococcus saprophyticus* SBPS-15. *Enzyme Microb. Technol.* 2019, 120: 1–7. doi: 10.1016/j.enzmictec.2018.09.008.
33. Manivasagan P., Sivasankar P., Venkatesan J., Sivakumar K., Kim S. K. Optimization, production and characterization of glycolipid biosurfactant from the marine actinobacterium, *Streptomyces* sp. MAB36. *Bioprocess Biosyst. Eng.* 2014, 37(5): 783–797. doi: 10.1007/s00449-013-1048-6.
34. Wang W., Cai B., Shao Z. Oil degradation and biosurfactant production by the deep sea bacterium *Dietzia maris* As-13-3. *Front. Microbiol.* 2014, 5:711. doi: 10.3389/fmicb.2014.00711.
35. Hu X., Wang C., Wang P. Optimization and characterization of biosurfactant production from marine *Vibrio* sp. strain 3B-2. *Front. Microbiol.* 2015, 6:976. doi: 10.3389/fmicb.2015.00976.
36. Roy S., Chandni S., Das I., Karthik L., Kumar G., Bhaskara Rao K. V. Aquatic model for engine oil degradation by rhamnolipid producing *Nocardiaopsis* VITSISB. *3 Biotech.* 2015, 5(2): 153–164. doi: 10.1007/s13205-014-0199-8.
37. Dhasayan A., Kiran G. S., Selvin J. Production and characterisation of glycolipid biosurfactant by *Halomonas* sp. MB-30 for potential application in enhanced oil recovery. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2014, 174(7): 2571–2584. doi:10.1007/s12010-014-1209-3.

38. Luepongpattana S., Thaniyavarn J., Morikawa M. Production of massoia lactone by *Aureobasidium pullulans* YTP6-14 isolated from the Gulf of Thailand and its fragrant biosurfactant properties. *J. Appl. Microbiol.* 2017, 23(6): 1488—1497. doi: 10.1111/jam.13598.
39. White D. A., Hird L. C., Ali S. T. Production and characterization of a trehalolipid biosurfactant produced by the novel marine bacterium *Rhodococcus* sp., strain PML026. *J. Appl. Microbiol.* 2013, 115(3): 744—755. doi: 10.1111/jam.12287.
40. Mani P., Sivakumar P., Balan S. S. Economic Production and Oil Recovery Efficiency of a Lipopeptide Biosurfactant from a Novel Marine Bacterium *Bacillus simplex*. *Achiev. Life Sci.* 2016, 10(1): 102—110. doi.org/10.1016/j.als.2016.05.010.
41. Hentati D., Chebbi A., Hadrich F., Frikha I., Rabanal F., Sayadi S., Manresa A., Chamkha M. Production, characterization and biotechnological potential of lipopeptide biosurfactants from a novel marine *Bacillus stratosphericus* strain FLU5. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2019, 167: 441—449. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.10.036.
42. Vilela W. F., Fonseca S. G., Fantinatti-Garboggini F., Oliveira V. M., Nitschke M. Production and properties of a surface-active lipopeptide produced by a new marine *Brevibacterium luteolum* strain. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2014, 174(6): 2245—2256. doi: 10.1007/s12010-014-1208-4.
43. Kiran G. S., Priyadharsini S., Sajayan A., Priyadharsini G. B., Poulouse N., Selvin J. Production of Lipopeptide Biosurfactant by a Marine Nesterenkonia sp. and Its Application in Food Industry. *Front. Microbiol.* 2017, 8:1138. doi:10.3389/fmicb.2017.01138.
44. Janek T., Krasowska A., Radwańska A., Łukaszewicz M. Lipopeptide biosurfactant pseudofactin II induced apoptosis of melanoma A 375 cells by specific interaction with the plasma membrane. *PLoS One.* 2013, 8(3):e57991. doi: 10.1371/journal.pone.0057991.
45. Balan S. S., Kumar C. G., Jayalakshmi S. Aneurinifactin, a new lipopeptide biosurfactant produced by a marine *Aneurinibacillus aneurinilyticus* SBP-11 isolated from Gulf of Mannar: Purification, characterization and its biological evaluation. *Microbiol. Res.* 2017, 194: 1—9. doi: 10.1016/j.micres.2016.10.005.
46. Deng M. C., Li J., Hong Y. H., Xu X. M., Chen W. X., Yuan J. P., Peng J., Yi M., Wang J.H. Characterization of a novel biosurfactant produced by marine hydrocarbon-degrading bacterium *Achromobacter* sp. HZ01. *J. Appl. Microbiol.* 2016, 120(4): 889—899. doi: 10.1111/jam.13065.
47. Lawrance A., Balakrishnan M., Joseph T.C., Sukumaran D. P., Valsalan V. N., Gopal D., Ramalingam K. Functional and molecular characterization of a lipopeptide surfactant from the marine sponge-associated eubacteria *Bacillus licheniformis* NIOT-AMKV06 of Andaman and Nicobar Islands, India. *Mar. Pollut. Bull.* 2014, 82(1—2): 76—85. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.03.018.
48. Janek T., Łukaszewicz M., Rezanka T., Krasowska A. Isolation and characterization of two new lipopeptide biosurfactants produced by *Pseudomonas fluorescens* BD5 isolated from water from the Arctic Archipelago of Svalbard. *Bioresour. Technol.* 2010, 101(15): 6118—6123. doi: 10.1016/j.biortech.2010.02.109.
49. Janek T., Łukaszewicz M., Krasowska A. Antiadhesive activity of the biosurfactant pseudofactin II secreted by the Arctic bacterium *Pseudomonas fluorescens* BD5. *BMC Microbiol.* 2012,12:24. doi: 10.1186/1471-2180-12-24.
50. Raddadi N., Giacomucci L., Totaro G., Fava F. *Marinobacter* sp. from marine sediments produce highly stable surface-active agents for combatting marine oil spills. *Microb. Cell Fact.* 2017, 16(1):186. doi: 10.1186/s12934-017-0797-3.

MICROORGANISMS AS PRODUCERS OF INTERFERONES  
OF **TYPE I AND II: CURRENT STATUS OF RESEARCH**

**O. Bodnar, O. Skrotska**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Interferon*

*Producer*

*Bacteria*

*Yeast*

*Recombinant strain*

---

**Article history:**

Received 03.09.2019

Received in revised form

19.09.2019

Accepted 11.10.2019

---

**Corresponding author:**

O. Skrotska

**E-mail:**

skrotska@ukr.net

---

**ABSTRACT**

---

Interferons (IFNs) are produced by different cells of the body and have antiviral, antitumor, antibacterial and immunomodulatory action. Different types of interferons are characterized by certain differences in structure, molecular weight, and functional activity.

Today different ways of obtaining IFN have been developed. Furthermore, the most common production of IFN is by using microorganisms. Therefore, the purpose of this review is to analyze the current scientific literature on the production of various types of interferons using bacteria, yeast, fungi and unicellular algae. This review contains scientific data on the production of type I and II interferons ( $\alpha$ -IFN,  $\beta$ -IFN,  $\epsilon$ -IFN,  $\gamma$ -IFN) by recombinant *Escherichia coli*, *Pichia pastoris*, *Kluyveromyces lactis*, *Yarrowia lipolytica*, *Trichoderma reesei*, *Chlamydomonas reinhardtii*. Bacterial producers based on *E. coli* that are able to accumulate IFN in the form of insoluble inclusion bodies and to produce soluble IFN in the periplasmic space have been considered. Different authors approaches to optimization of cultivation process, as well as methods of isolation and purification of IFN have been shown. The data on the synthesis of consensus IFN by bacteria has been given. The paper also discusses eukaryotic expression systems of recombinant IFN based on *P. pastoris*. The data on the possibility of modification of IFN — fusion with albumin and *N*-glycosylation have been shown. Different approaches to increase IFN concentration in the culture fluid have been presented: use of low temperature induction by methanol, coexpression of molecular chaperones, codon optimization, application of metabolic engineering methods. The possibility of using other yeast for obtaining IFN — *K. lactis* and *Y. lipolytica* has been shown. It was also provided a material on the design of recombinant IFN producers based on *T. reesei* fungi and *C. reinhardtii* unicellular microalga.

The use of both pro- and eukaryotic producers has advantages and disadvantages. Moreover, the quality of recombinant interferon, its functional activity, quantity, concentration and yield are the most important factors to consider in selecting an expression platform to obtain it.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-5

---

## МІКРООРГАНІЗМИ ЯК ПРОДУЦЕНТИ ІНТЕРФЕРОНІВ І ТА ІІ ТИПУ: СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ

О. В. Боднар, О. І. Скроцька

Національний університет харчових технологій

Інтерферони (ІФН) продукуються різними клітинами організму і володіють протівірусною, протипухлинною, антибактеріальною та імуномодуючою дією. Різні типи інтерферонів характеризуються певними відмінностями в структурі, молекулярній масі та за функціональною активністю.

На сьогодні розроблені різні способи отримання ІФН. При цьому найпоширенішим є виробництво ІФН з використанням мікроорганізмів, тому метою цього огляду є аналіз сучасної наукової літератури, у якій описано способи отримання різних типів інтерферонів з використанням бактерій, дріжджів, грибів та одноклітинних водоростей.

У статті розглянуто продукцію інтерферонів I та II типу ( $\alpha$ -ІФН,  $\beta$ -ІФН,  $\varepsilon$ -ІФН,  $\gamma$ -ІФН) рекомбінантними клітинами *Escherichia coli*, *Pichia pastoris*, *Kluyveromyces lactis*, *Yarrowia lipolytica*, *Trichoderma reesei*, *Chlamydomonas reinhardtii*, бактеріальні продуценти на основі *E. coli*, які здатні накопичувати ІФН у вигляді нерозчинних тілець включень, а також продукувати розчинний ІФН у периплазматичний простір. Проаналізовано різні підходи авторів до оптимізації процесу культивування, а також способів виділення й очищення ІФН. Викладено інформацію про синтез консенсусного ІФН бактеріями.

Описано еукаріотичні системи експресії рекомбінантного ІФН на основі *P. pastoris*. Наведено дані щодо можливості модифікації ІФН — поєднання з альбуміном та N-глікозилювання, різні підходи до збільшення концентрації ІФН у культуральній рідині: використання низькотемпературної індукції метанолом, коекспресія молекулярних шаперонів, оптимізація кодонів, застосування методів метаболічної інженерії. Показано можливість використання інших дріжджів для отримання ІФН — *K. lactis* та *Y. lipolytica*. Також наведено матеріал про конструювання рекомбінантних продуцентів ІФН на основі грибів *T. reesei* та одноклітинних водоростей *C. reinhardtii*.

Використання як про-, так і еукаріотичних продуцентів має свої переваги та недоліки. При цьому якість рекомбінантного інтерферону, його функціональна активність, кількість, концентрація та вихід є найбільш важливими факторами, які слід враховувати при виборі експресійної платформи для його отримання.

**Ключові слова:** інтерферон, продуцент, бактерії, дріжджі, рекомбінантний штам.

**Постановка проблеми.** З початку відкриття інтерферонів (ІФН) дослідження їх біологічних властивостей були пов'язані з встановленням протівірусної активності. Зокрема, показана ефективність їх застосування щодо широ-

кого кола вірусів (вірусу грипу, вірусу імунодефіциту людини, вірусу гепатиту С та В, вірусу простого герпесу тощо). Пізніше було встановлено, що ІФН здатні стимулювати клітинну ланку імунітету — активувати макрофаги, цитотоксичні Т-лімфоцити, природні кілери, простагландинову та кортикостероїдну системи. Показано, що ІФН проявляють протипухлинну дію, а також ефективні при бактеріальних інфекціях, спричинених мікроорганізмами родів *Listeria*, *Legionella*, *Streptococcus* та ін. [1].

Нині існує кілька способів отримання цитокінів, найпоширенішим серед яких є виробництво ІФН з використанням генетично модифікованих продуцентів. У технологіях рекомбінантного ІФН в основному використовують мікроорганізми, тому **метою цього огляду** є аналіз сучасної наукової літератури щодо отримання різних типів інтерферонів з використанням бактерій, дріжджів, грибів та одноклітинних водоростей.

**Викладення основних результатів дослідження.** *Бактепії Escherichia coli*. Серед бактеріальних експресійних систем для отримання рекомбінантних ІФН найбільш вивченими є клітини *E. coli*. Геном цих бактерій повністю розшифрований і досліджений, маніпуляції з генетичним матеріалом *E. coli* є досить простими, а кількість синтезованого рекомбінантного продукту досягає до 50% загального клітинного білка [2].

*Інтерферон альфа (ІФН-α)*. Відноситься до ІФН I типу. На сьогодні ідентифіковано більше 20 підтипів ІФН-α. У виробництві отримують рекомбінантні ІФН-α2a та ІФН-α2b, які відрізняються за однією амінокислотою. Дані цитокіни складаються з 165 амінокислот з молекулярною масою близько 19 кДа. Їх застосовують для лікування хронічних вірусних гепатитів В і С, лейкемії, меланоми, саркоми Капоші, міеломи, лімфоми тощо [3].

При високій експресії рекомбінантного ІФН в клітинах *E. Coli*, зазвичай, формуються тілця включення. Їх утворення робить рекомбінантний білок нерозчинним, що спрощує його виділення у денатурованій формі. При цьому необхідно обробити тілця включення хімічними реагентами для розчинення і ренатурації ІФН в нативній формі. Виділення й очистка ІФН з нерозчинних тілець включень передбачають використання трьох і більше етапів хроматографії. Тому ведуться роботи з удосконаленню способів очищення рекомбінантних ІФН. Так, Романов зі співавт. пропонують спосіб очищення ІФН-α2b, що синтезується у вигляді тілець включень за культивування рекомбінантного штаму *E. coli* BDEES4, використовуючи дві стадії іонообмінної хроматографії. При цьому вихід очищеного ІФН становив 2—3 мг з одного грама біомаси. Специфічна активність отриманого ІФН-α2b щодо вірусу везикулярного стоматиту на клітинах L68 становила 1,5—2,5 10<sup>8</sup> МО/мг [4].

З тілець включень можна виділити більше 90% рекомбінантного білка, але кінцевий вихід очищеного активного ІФН сильно знижується в результаті процесів солюбілізації і ренатурації, тому нині реалізуються проекти з підвищення розчинності рекомбінантного ІФН в процесі біосинтезу. Однією з ефективних стратегій є використання конструкцій злитих білків [5].

Так, Vu зі співавт. дослідили вплив на розчинність ІФН- $\alpha$ 2b семи білкових міток — гексагістидину (His6), тіоредоксину (Trx), глутатіон-S-трансферази (GST), мальтозо-зв'язуючого білка (MBP), білкового фактора (NusA), дисульфідизомерази (PDI) та b'a' домену PDI. На основі *E. coli* BL21 (DE3) були сконструйовані різні рекомбінантні продуценти ІФН- $\alpha$ 2b з генами відповідних білкових міток. Для індукції експресії ІФН автори застосували ізопропіл- $\beta$ -D-1-тіоґалактопіранозид (IPTG) за різних температурних режимів: 37°C та 18°C. Для всіх досліджуваних міток (крім GST) температура 18°C виявилась найефективнішою для індукції: рівень експресії ІФН зростав на 11—34%, а кількість розчинного ІФН — на 9—80% залежно від білкової конструкції. Серед досліджуваних міток високу ефективність показали MBP, PDI, NusA та Trx, але, враховуючи те, що MBP сприяє правильному згортанню ІФН в його біологічно активну конформацію, запобігає утворенню білкових конгломератів, захищає ІФН від деградації, а також специфічно зв'язується з колонками для хроматографічного розділення, автори пропонують використовувати саме мальтозо-зв'язуючий білок як ефективну мітку для поєднання з ІФН- $\alpha$ 2b. Після всіх стадій виділення та очищення з літра КР автори отримали 14,4 мг ІФН- $\alpha$ 2b [6].

Значна увага приділяється методам аналізу розчинного ІФН, що синтезується у периплазматичний простір клітини. Так, Dias зі співавт. запропонували високоефективну рідинну хроматографію з оберненою фазою (RP-HPLC) для якісного та кількісного аналізу ІФН- $\alpha$  в бактеріальних периплазматичних екстрактах без будь-якої попередньої стадії очищення. Для виділення білків автори використали метод осмотичному шоку без руйнування клітин *E. coli* W3110 — продуцента ІФН. Чутливість запропонованого методу становила 7,2 нг ІФН. Також розроблений метод можна застосовувати для ідентифікації ІФН у фармацевтичних субстанціях, оскільки він дає змогу виявити ІФН з різними структурними відмінностями: глікозильовані та окислені ізоформи, а також N-метіонільовані молекули [7].

Нині велику увагу дослідників привертає консенсусний інтерферон (кІФН) — штучно сконструйований інтерферон з усередненою амінокислотою послідовністю природних людських підтипів альфа-інтерферонів. Він характеризується більшою противірусною та антипроліферативною активністю, якщо порівняти з іншими інтерферонами, включаючи пегільовані варіанти.

El-Baky зі співавт. розробили спосіб отримання розчинного кІФН- $\alpha$  з використанням *E. coli* BL21-CodonPlus (DE3) із застосуванням автоіндукції для синтезу ІФН. Суть автоіндукції полягає у використанні явища діауксії. Для культивування бактерій автори використовували поживне середовище, в якому джерелом вуглецю була глюкоза і лактоза. Спочатку бактерії споживають глюкозу, а потім лактозу, яка, крім джерела вуглецю й енергії, виконувала роль індуктора для синтезу ІФН. Найвища концентрація розчинного кІФН- $\alpha$  спостерігалась за температури культивування 25—30°C. При підвищенні температури до 37°C концентрація кІФН- $\alpha$  зменшувалась на 17%.

Після виділення й очищення авторам вдалось отримати 270 мг кІФН- $\alpha$  з одного літра культуральної рідини (КР). Протипухлинна активність консенсусного ІФН *in vitro* на моделі культуральної лінії HerG2 виявилась на 33% вищою порівняно зі звичайним ІФН- $\alpha$ . Противірусну активність досліджували *in vitro* на моделі вірусу простого герпесу I типу, при цьому терапевтичний індекс кІФН- $\alpha$  виявився у 42 рази вищим за комерційний ІФН- $\alpha$ , а специфічна противірусна активність склала  $3,25 \cdot 10^6$  МО/мг [8].

Біосинтез консенсусного ІФН- $\alpha$  досліджували також Ahmed зі співавт. На основі *E. coli* BL21DE3 Plys ними був сконструйований штам, здатний синтезувати ендogenous кІФН- $\alpha$  у вигляді тілець включень. Автори дослідили експресію кІФН- $\alpha$  при використанні різних поживних середовищ. Найбільшу концентрацію біомаси *E. coli* (25 г/л) і тілець включень (5,5 г/л) отримали за використання середовища M9 з лимонною кислотою як джерела вуглецю. Найнижчі показники спостерігались при використанні середовища LB: зниження концентрації клітин та тілець включень на 60% та 55% відповідно. Автори також оптимізували спосіб виділення й очищення кІФН- $\alpha$ . Для руйнування клітин був використаний механічний метод при дії тиску 103 МПа. Для солюбілізації кІФН- $\alpha$  найефективнішим виявився гуанідин, оскільки за його використання отримували найбільшу кількість високоочищеного ІФН. Запропоновано додавати *L*-аргінін у кінцевій концентрації 0,3—0,5 М у буфер для рефолдингу. Враховуючи всі етапи виділення, дослідники отримали 100 мг кІФН- $\alpha$  з одного літра КР. Противірусна активність отриманого кІФН- $\alpha$  на моделі вірусу везикулярного стоматиту *in vitro* становила  $2 \cdot 10^8$  МО/мг [9].

*Інтерферон бета (ІФН- $\beta$ )*. Цитокін відноситься до інтерферонів I типу і складається з 166 амінокислот. ІФН- $\beta$  притаманні антивірусні, антипроліферативні та імунomodulatory властивості. Його комерційні препарати використовують для лікування розсіяного склерозу, хронічного вірусного гепатиту, ревматоїдного артриту, статевих кондилом, злоякісної меланоми та інших онкологічних захворювань. Рекombinantні клітини *E. coli* продукують неглікозильований, але біологічно активний ІФН- $\beta$  з молекулярною масою 18 кДа, що складається з 165 амінокислотних залишків.

Mogowvat зі співавт. створили recombinantний штам на основі *E. coli* BL21 (DE3), який продукує ІФН- $\beta$ 1b у периплазматичний простір. На основі плазмиди pET-25b(+) автори сконструювали вектор з *N*-сигнальними послідовностями пектатліази В (pelB), що забезпечувало секрецію ІФН у периплазму клітини. Варто зазначити, що максимум синтезованого ІФН- $\beta$ 1b досягається при OD<sub>600</sub> = 3,42 і становить 35% від загального вмісту білка, що є цілком ефективним, оскільки периплазма становить максимум 40% від загального вмісту клітини [10].

Також Mogowvat зі співавт. для оптимізації умов культивування recombinantних клітин застосували методологію планування експерименту з використанням тривірневого факторного методу RSM. Достовірність моделі прогнозування максимальної надекспресії ІФН- $\beta$ 1b була підтверджена експериментально з використанням *E. coli* BL21 (DE3). При цьому реальна концентрація роз-

чинного ІФН- $\beta$ 1b була лише на 4,5% менша за прогнозовану. Тож методика моделювання оптимальних умов культивування є цілком раціональною та може використовуватись для оптимізації умов для надекспресії ІФН- $\beta$  [11].

*Інтерферон епсилон (ІФН- $\epsilon$ )*. Складається з 192 амінокислот і відноситься до ІФН I типу. Синтезується в легенях, шкірі, тонкому кишечнику, прямій кишці та репродуктивних тканинах [12]. Встановлена його противірусна активність, включаючи ВІЛ [13].

Про конструювання рекомбінантного продуцента ІФН- $\epsilon$  повідомили Abdel-Fattah зі співавт. Сконструйований ними штам на основі клітин *E. coli* BL21(DE3) pLysS продукував ІФН- $\epsilon$  у вигляді нерозчинних тілець включень. З літра КР автори отримали 114 мкг очищеного ІФН. Була показана його протипухлинна активність на клітинах раку молочної залози MDA-MB-231 і MCF-7, шляхом індукції раннього та пізнього апоптозу. Авторів визначили рівень експресії каспази 3, яка бере участь в активації апоптозу клітин. Встановлено, що при обробці ракових клітин ІФН- $\epsilon$  підвищував синтез каспази 3 у 1,5 раза [14].

*Інтерферон гамма (ІФН- $\gamma$ )*. Це єдиний представник інтерферонів II типу, складається з 143 амінокислотних залишків, має молекулярну масу 25 кДа. Біологічно активний рекомбінантний ІФН- $\gamma$ , що продукується клітинами *E. coli* є неглікозильованим білком з молекулярною масою 17 кДа. ІФН- $\gamma$  проявляє як про-, так і протизапальні властивості. Цей цитокін посилює антигенпрезентуючу та лізосомну активність макрофагів, стимулює противірусну та протипаразитарну активність, сприяє адгезії і зв'язуванню лейкоцитів, а також впливає на проліферацію й апоптоз клітин [15].

Pandey із співавторами досліджували синтез ІФН- $\gamma$  модифікованими клітинами *E. coli* GALG20 (DE3). Цей штам характеризується мутацією гена *pgi*, який кодує фермент фосфоглюкозоізомеразу. Зміни в доступності цього ферменту потенційно можуть впливати на метаболізм NADH/NADPH, цикл гліюксилату і цикл Кребса. Інактивація *pgi* в *E. coli* GALG20(DE3) призвела до збільшення потоку реакцій синтезу амінокислот і зменшення потоку реакцій синтезу нуклеотидів під час продукції ІФН- $\gamma$ . Клітини штаму GALG20(DE3) в основному продукують цей цитокін у вигляді тілець-включень і лише 5% складає розчинний ІФН. Слід зазначити, що прогнозовані авторами результати щодо продукції ІФН- $\gamma$  *in silico* підтвердились в експерименті. При цьому клітини *E. coli* GALG20(DE3) синтезували у 1,5 та у 3,5 раза більше ІФН- $\gamma$  порівняно з штамми BL21(DE3) і MG1655(DE3) відповідно [16].

Надсинтез ІФН- $\gamma$  трансформованими клітинами *E. coli* BL21(DE3) спостерігали Вабаєіроу зі співавт. Вчені оптимізували такі параметри культивування: концентрацію індуктора, час індукції та тривалість процесу. В ході досліджень не виявлено прямої залежності між кількістю індуктора та експресією ІФН. При цьому індукція 2,25 мг/л IPTG в середній логарифмічній фазі росту забезпечувала найвищу концентрацію ІФН- $\gamma$ . Максимальний питомий вихід ІФН склав 400 мг з 1 г біомаси [17].

У табл. 1. наведена узагальнена інформація щодо параметрів культивування та синтезу ІФН вказаними вище штамми *E. coli*.

*Таблиця 1. Бактерії Escherichia coli як продуценти інтерферонів I та II типу*

Штам / Трансформуюча конструкція	Тип ІФН	Концентрація ІФН, г/л	Особливості процесу культивування	Джерело
<i>E. coli</i> W3110 / $\lambda$ PLDsba-IFN- $\alpha$ 2a	ІФН- $\alpha$ 2a розчинний	0,05	Середовище LB, $t = 30^{\circ}\text{C}$ , тривалість 16 год	[7]
<i>E. coli</i> BL21 (DE3) / MBP-TEVrs-IFN $\alpha$ -2b	ІФН- $\alpha$ 2b розчинний	0,14	Середовище LB з ампіциліном, $t = 37^{\circ}\text{C}$ , при $\text{OD}_{600} = 0,5$ індукція IPTG при $t = 18^{\circ}\text{C}$ 12 год	[6]
<i>E. coli</i> GALG20(DE3) / pET28a-IFN $\gamma$	ІФН- $\gamma$ в тільцях-включеннях	0,23	Середовище LB з канаміцином, $t = 3^{\circ}\text{C}$ , при $\text{OD}_{600} = 0,5$ індукція IPTG 4 год	[16]
<i>E. coli</i> BL21 (DE3) / pET-25b	ІФН- $\beta$ 1b розчинний	0,26	Середовище ТВ з ампіциліном, $t = 37^{\circ}\text{C}$ , при $\text{OD}_{600} = 1,66$ індукція IPTG при $t = 30^{\circ}\text{C}$ 5 год.	[11]
<i>E. coli</i> BL21 (DE3) / pET-25b(+)	ІФН- $\beta$ 1b розчинний	0,32	Середовище ТВ з ампіциліном, $t = 37^{\circ}\text{C}$ , при $\text{OD}_{600} = 1$ індукція IPTG 3 год.	[10]
<i>E. coli</i> BL21-CodonPlus (DE3) / pET-clFN $\alpha$	кІФН- $\alpha$ розчинний	1,2	Середовище LB з ампіциліном, $t = 25^{\circ}\text{C}$ , експрес-автоіндукція лактозою, тривалість 24 год до досягнення $\text{OD}_{600} = 6-7$	[8]
<i>E. coli</i> BL21(DE3) pLysS / pET-28a(+)	ІФН- $\epsilon$ в тільцях-включеннях	5,54*	Середовище LB з канаміцином, $t = 37^{\circ}\text{C}$ , при $\text{OD}_{600} = 0,6$ індукція IPTG 5 год	[14]
<i>E. coli</i> BDEES4	ІФН- $\alpha$ 2b в тільцях включеннях	5,65*	Середовище з гідролізатом казеїну (16 г/л), дріжджовим екстрактом (10 г/л), глюкозою (5 г/л), солями, ампіциліном та хлорамфеніколом; $t = 37^{\circ}\text{C}$ , при $\text{OD}_{600} = 3$ індукція IPTG 3 год.	[4]
<i>E. coli</i> BL21DE3 Plys / pET30-rhcIFN	кІФН- $\alpha$ в тільцях-включеннях	6*	Середовище M9 з канаміцином, $t = 37^{\circ}\text{C}$ , тривалість 22 год, індукція IPTG через 4 год культивування	[9]
<i>E. coli</i> BL21 (DE3) / pET3a	ІФН- $\gamma$ в тільцях включеннях	51	Модифіковане середовище M9, дробне внесення глюкози, $t = 37^{\circ}\text{C}$ , індукція IPTG при концентрації клітин 65 г/л 4 год, тривалість 17 год	[17]

**Примітка:** \* — концентрація тілець включень.

**Дріжджі *Pichia pastoris*.** На відміну від бактерій, дріжджі — одноклітинні еукаріоти, тому в них наявний механізм посттрансляційної модифікації і утворення дисульфідних зв'язків, що забезпечує правильне згортання і секрецію білкової молекули. Саме це робить *P. pastoris* більш універсальною платформою для експресії гетерологічних розчинних білків порівняно з *E. coli*.

**ІФН- $\alpha$ .** Для індукції синтезу ІФН при культивуванні рекомбінантних дріжджів *P. pastoris* додають метанол. При цьому висока концентрація метанолу впливає на клітинні метаболічні функції і пригнічує активність промотора алкогольоксидази, що призводить до зниження експресії рекомбінантного цитокіну [18]. Тому вчені розробляють нові способи індукції ІФН для підвищення стійкості *P. pastoris* до дії метанолу. Gao із співавт. Запропонували використання низькотемпературної індукції (20°C) та сумісної індукції метанолом і сорбітом в процесі культивування *P. pastoris* KM71. Найвищий синтез ІФН- $\alpha$  з активністю  $1,8 \cdot 10^7$  МО/мг спостерігали при використанні метанолу у концентрації 10 г/л. При реалізації запропонованої авторами методики дріжджі витримували збільшення концентрації метанолу до 42 г/л із зменшенням синтезу ІФН лише на 11%. При підвищенні температури індукції від 20 до 30°C вказана концентрація метанолу призводила до зниження продукції ІФН на 80% [19].

ІФН має досить малу молекулярну масу, тому швидко виводиться з організму. Одним із способів модифікації ІФН з метою збільшення молекулярної маси та подовження періоду виведення є технологія поєднання з білком крові альбуміном (HSA). Період напіввиведення альбуміну з організму — 9 днів, а немодифікованого рекомбінантного ІФН- $\alpha_2\alpha$  — 5 год. Тому Tian зі співавт. вивчали експресію гібридного білка HSA-ІФН- $\alpha_1$  модифікованими клітинами *P. pastoris* GS115. Протівірусна активність HSA-ІФН- $\alpha_1$  на моделі вірусу везикулярного стоматиту з використанням клітин амніону людини WISH була у 6 разів нижчою, якщо порівняти з немодифікованим ІФН- $\alpha_1$ . Проте у дослідженнях *in vivo* біологічна активність гібридного цитокіну була у 10 разів вищою, ніж звичайного ІФН- $\alpha_1$  [20].

Також можливість синтезу злитого з альбуміном ІФН досліджували Ningrum зі співавт. Вчені хімічно синтезували оптимізовану за кодонами нуклеотидну послідовність, що містила інформацію про синтез гібридного HSA-ІФН- $\alpha_2\alpha$ . При дослідженні кількох штамів рекомбінантних дріжджів з цією генетичною конструкцією найбільшу концентрацію ІФН спостерігали при культивуванні штаму *P. pastoris* SMD1168, який є дефіцитним щодо продукції протеаз [21].

Альтернативним підходом для поліпшення фармакокінетичних властивостей ІФН- $\alpha$  є використання технології глікоінженерії [22]. *N*-глікозилювання є критичною посттрансляційною модифікацією, яка впливає на біологічну активність терапевтичних білків і швидкість виведення з організму. Тому Katla зі співавт. на основі *P. pastoris* SuperMan5 сконструювали штам дріжджів, здатний синтезувати глікозилюваний ІФН- $\alpha_2\alpha$ . Введена у клітини *P. pastoris* генетична конструкція містила оптимізований ген ІФН- $\alpha_2\alpha$  з одним сайтом *N*-глікозилювання в положенні 104 амінокислоти, де гліцин був замінений на аспарагін. Глікозилюваний ІФН мав в 1,3 раза більший

період напіввиведення та пригнічував реплікацію вірусів гепатиту С і Е на 85% та 66% відповідно [23].

ІФН- $\gamma$ . Wang зі співавт. трансформували штам *P. pastoris* X-33 генетичною конструкцією з використанням послідовності сигнального пептиду  $\alpha$ -фактора *Saccharomyces cerevisiae* (MF- $\alpha$ ), який впливає на ефективність синтезу ІФН- $\gamma$ . У разі використання такої експресійної системи вченим вдалось отримати штам дріжджів, здатний до продукції ІФН- $\gamma$  у високій концентрації. Проти-вірусна активність отриманого ІФН на моделі вірусу енцефаломіокардиту з використанням клітинної лінії карциноми людини HEP2С становила  $1,4 \cdot 10^7$  МО/мг [24].

При використанні як експресійної системи *P. pastoris* рекомбінантні білки набувають правильної конформації в ендоплазматичному ретикулумі (ЕПР), після чого секретуються комплексом Гольджі [25]. При неправильному згортанні формуються тільця включення, які піддаються ендоплазматичній деградації. Це призводить до низького виходу рекомбінантного білка [26]. Одним із способів вирішення цієї проблеми є коекспресія молекулярних шаперонів, які беруть участь в правильному згортанні і транслокації білків. Одним із таких шаперонів є дисульфідізомераза (PDI). PDI асоційована із ЕПР діє як фермент і шаперон. Як фермент — каталізує утворення дисульфідних зв'язків, а як шаперон — допомагає в згортанні білка в ЕПР [27].

Інший спосіб отримання високого виходу гетерологічних білків — це оптимізація кодонів [28]. Так, Prabhu зі співавтор. дослідили продукцію ІФН- $\gamma$  у сконструйованих ними рекомбінантних штаммах *P. pastoris*: GS115-hIFN $\gamma$  — з нативним геном ІФН- $\gamma$ , GS115-hIFN $\gamma$ -PDI — з нативним геном ІФН- $\gamma$  та коекспресією PDI, GS-hIFN- $\gamma$ opt — з геном ІФН- $\gamma$ , що містив оптимізовані кодони. Найменшу кількість ІФН синтезував штам GS115-hIFN $\gamma$  — 200 мкг/л. При культивуванні GS115-hIFN $\gamma$ -PDI продукція ІФН зросла у 2,5 раза, а при культивуванні GS-hIFN- $\gamma$ opt — у 9 разів. Тому в подальшому автори оптимізували параметри культивування штаму GS-hIFN- $\gamma$ opt. Найбільша концентрація ІФН- $\gamma$  спостерігалась за температури 25°C, а при 20, 30 та 37°C — концентрація ІФН- $\gamma$  знижувалась на 44, 28 та 55% відповідно. Максимальна експресія ІФН була досягнута при використанні метанолу як індуктора у кінцевій концентрації 1%, а при 0,25; 0,5 та 2% концентрації — спостерігали зниження синтезу ІФН на 64, 52 та 12% відповідно. Після оптимізації параметрів продукція ІФН- $\gamma$  штамом GS-hIFN- $\gamma$ opt зросла на 40% [29].

Шаперони Ssa1p (Hsp 70) і Ydj1p (Hsp 40) допомагають у транспортуванні білків у ЕПР, Kar2p і Sec63p беруть участь у транслокації розгорнутого білка, PDI сприяє правильному згортанню гетеролітичного білка. Тому в іншій праці Prabhu з колегами дослідили вплив цих шаперонів на продукцію ІФН- $\gamma$  клітинами дріжджів. На основі рекомбінантних клітин *P. pastoris* вчені конструювали різні штамми з генами вказаних шаперонів, після чого досліджували їхній індивідуальний і сумісний вплив на синтез ІФН. Контрольний штам *P. pastoris* GS-hIFN- $\gamma$  синтезував 0,22 мг/л ІФН- $\gamma$ . У штамів з окремими генами шаперонів спостерігали збільшення продукції ІФН у 3 рази. А при

культивуванні штамів з сумісною експресією кількох шаперонів синтез ІФН- $\gamma$  збільшувався у 4—9 разів. Найефективнішим виявився штам з сумісною експресією шаперонів Kar2p і PDI [30].

Іншим способом підвищення продуктивності рекомбінантних білків у *P. pastoris* є додавання в середовище культивування декількох субстратів з метанолом. Тому в іншій публікації Prabhu зі співавтор. висвітлили результати дослідження впливу різних концентрацій глюконату та метанолу на синтез ІФН- $\gamma$  рекомбінантним штамом *P. pastoris* GS115/Mut $\beta$ /hIFN- $\gamma$ opt, який синтезує цитокін під контролем промотора алкогольоксидази (АОХ). При збільшенні концентрації глюконату від 10 до 60 г/л автори спостерігали збільшення питомої швидкості росту *P. pastoris*, але подальше збільшення концентрації субстрату до 80 та 100 г/л призвело до зменшення питомої швидкості росту на 15 та 27% відповідно. Максимальна концентрація ІФН (13 мг/л) спостерігалась при концентрації метанолу 10 г/л. Варто зазначити, що в цьому разі глюконат є безпосередньо джерелом вуглецю, який сприяє росту біомаси, тоді як метанол є джерелом вуглецю та індуктором, який сприяє транскрипційній активності генів АОХ. При збільшенні концентрації метанолу спостерігається різке зниження біомаси та, відповідно, виходу ІФН, що пов'язано з утворенням токсичного формальдегіду. Автори дослідили та визначили оптимальні концентрації глюконату (40 г/л) та метанолу (10 г/л) при їх одночасному додаванні у поживне середовище, при цьому концентрація ІФН зросла у 2 рази [31].

Досягнення в галузі метаболічної інженерії сприяли створенню мікробних продуцентів різних терапевтичних білків і ферментів. Тому Prabhu з колегами дослідили вплив окислювальних ферментів пентозо-фосфатного шляху та їх синергічний ефект на продукцію ІФН клітинами дріжджів. Вчені сконструювали штам *P. pastoris* GS/hIFN- $\gamma$ /SR зі зміненими кодонами та генами 6-фосфоглюконолактонази і d-трибулозо-5-фосфат-3-епімерази. Цей штам продукував у 1,5 раза більше ІФН- $\gamma$  порівняно зі штамом GS/hIFN- $\gamma$ . Варто зазначити, що такого ефекту вдалось досягти за рахунок змішаної подачі джерел вуглецю глюконату та метанолу в концентрації 80 і 123 мг/л відповідно [32].

Виділення та очистка рекомбінантних білків є одним із найскладніших етапів біотехнології їх отримання. Одним із ефективних методів розділення білків є зворотна міцелярна екстракція, що ґрунтується на принципах рідинно-рідинної екстракції [33]. Так, Prabhu зі співавтор. застосували метод нікель-хелатних зворотних міцел для очищення ІФН- $\gamma$ , отриманого культивуванням *P. pastoris* X-33-hIFN- $\gamma$ opt. Така методика очищення дає змогу повністю зберегти біологічну активність і стабільність ІФН. Активність очищеного ІФН- $\gamma$  визначали за його дією на клітини раку молочної залози MCF-7. ІФН у концентрації менше 40 нг/мл майже не спричиняв інгібування росту MCF-7, тоді як у концентрації 60—100 нг/мл спостерігали зменшення життєздатності клітин на 25%, що пояснюється підвищенням рівнів активних форм кисню [34].

Узагальнена інформація щодо вказаних вище продуцентів ІФН на основі *P. pastoris* наведена у табл. 2.

*Таблиця 2. Синтез інтерферону рекомбінантними клітинами Pichia pastoris*

Штам / Трансформуюча конструкція	Тип ІФН	Концентрація ІФН, г/л	Особливості процесу культивування	Джерело
<i>P. pastoris</i> GS-hIFN- $\gamma$ / Kar2p + PDI / pPIC9k	ІФН- $\gamma$	0,002	Середовище ВММУ, $t = 28^{\circ}\text{C}$ , pH = 6, при OD <sub>600</sub> = 10 індукція 1% метанолом з інтервалом 24 год упродовж 72 год	[30]
<i>P. pastoris</i> GS-hIFN- $\gamma^{\text{opt}}$ / pPICZ $\alpha$ A-hIFN- $\gamma^{\text{opt}}$	ІФН- $\gamma$	0,0025	Середовище ВМГУ, $t = 25^{\circ}\text{C}$ , pH = 7, індукція 1% метанолом з інтервалом 24 год, тривалість 72 год	[29]
<i>P. pastoris</i> SMD1168 / pPICZ $\alpha$ B	HSA-ІФН- $\alpha$ 2a	0,014*	Середовище ВМГУ, $t = 30^{\circ}\text{C}$ , індукція 0,5% метанолом через 24 год культивування, тривалість 72 год	[21]
<i>P. pastoris</i> GS115/Mut <sup>b</sup> / hIFN- $\gamma^{\text{op}}$ / pPICZ $\alpha$	ІФН- $\gamma$	0,027	Модифіковане середовище FM 22 з глюконатом (40 г/л) та метанолом (10 г/л), $t = 25^{\circ}\text{C}$ , тривалість 72 год	[31]
<i>P. pastoris</i> X33-hIFN- $\gamma^{\text{opt}}$ / pPICZ $\alpha$ B-hIFN- $\gamma^{\text{opt}}$	ІФН- $\gamma$	0,036	Середовище ВММУ, $t = 25^{\circ}\text{C}$ , індукція 1% метанолом з інтервалом 24 год, тривалість 60 год	[34]
<i>P. pastoris</i> GS/hIFN- $\gamma$ / SR / pPIC9K-hIFN- $\gamma^{\text{opt}}$	ІФН- $\gamma$	0,123	Модифіковане середовище FM 22, $t = 25^{\circ}\text{C}$ , індукція метанолом упродовж 72 год, тривалість 120 год	[32]
<i>P. pastoris</i> X-33 / pPICZ $\alpha$ C	ІФН- $\gamma$	0,3	Середовище ВМГУ, $t = 30^{\circ}\text{C}$ , індукція 0,5% метанолом кожні 24 год, тривалість 96 год	[24]
<i>P. pastoris</i> SuperMan5 / pPICZ $\alpha$ A-IFN $\alpha$ 2b	ІФН- $\alpha$ 2b	0,35	Середовище ВМГУ, $t = 30^{\circ}\text{C}$ , pH 5,2; індукція 0,5% метанолом з інтервалом 24 год упродовж 72 год	[23]
<i>P. pastoris</i> KM71 / pPICZ- $\alpha$ IFN	ІФН- $\alpha$	2,7	Середовище з гліцерином (500 г/л) та солями, $t = 30^{\circ}\text{C}$ ; через 30 год індукція 0,5% метанолом та сорбітом за $t = 20^{\circ}\text{C}$ після споживання гліцерину, тривалість 98 год	[19]
<i>P. pastoris</i> GS115 / pPIC3.5-HSA-IFN $\alpha$ 1	HSA-ІФН- $\alpha$ 1	198*	Середовище ВМГУ, $t = 30^{\circ}\text{C}$ , при OD <sub>600</sub> = 2—6 індукція метанолом (5 мл/л) з інтервалом 24 год упродовж 72 год	[20]

**Примітка:** \* — концентрація гібридного білка ІФН-альбумін.

**Дріжджі *Kluyveromyces lactis*.** На відміну від *E. coli* система експресії гетерологічних білків на основі *K. lactis* не потребує аналізу на наявність ендотоксинів, порівняно з *P. pastoris*, індукція синтезу ІФН не потребує метанолу як індуктора. Тому нині *K. lactis* розглядають як альтернативну платформу для конструювання рекомбінантних штамів, що здатні синтезувати ІФН.

Нещодавно Pandey з колегами сконструювали рекомбінантний штам *Kluyveromyces lactis* KLIFNG10 та оптимізували параметри його культивування для отримання розчинного ІФН- $\gamma$ . Досліджуючи вплив концентрації лактози на ріст біомаси, автори виявили, що в разі використання 20 г/л лактози концентрація *K. lactis* KLIFNG10 становила 15 г/л, тоді як концентрації 40, 80 та 100 г/л викликали зменшення концентрації біомаси на 8, 7 та 20% відповідно. За використання лактози у концентрації 200 та 250 г/л відбувалось повне інгібування субстрату. Використовуючи як джерело вуглецю лактозу, автори спостерігали двофазний ріст культури. При цьому спочатку споживалась лактоза (перші 20—24 год культивування), а як побічний продукт метаболізму *K. lactis* продукували етанол і ацетат. У другій фазі як джерело вуглецю клітини споживали етанол. Автори припускають, що саме етанол і є індуктором синтезу ІФН- $\gamma$  [35].

Також Pandey зі співавт. за рахунок використання статистичного підходу методики поверхневого відклику (Box-Behnken — BBD) та алгоритмів штучної нейронної мережі, яка заснована на генетичному алгоритмі (ANN-GA) оптимізували умови культивування штаму *K. lactis* GG799 для біосинтезу розчинного ІФН- $\gamma$ . Достовірність розрахунків для визначення оптимального складу поживного середовища була підтверджена експериментально. При цьому реальна концентрація біомаси *K. lactis* виявилась на 9,5% вищою, а концентрація рекомбінантного ІФН- $\gamma$  лише на 2% меншою за передбачувану. Тривалість культивування склала 98 год, але максимальну продукцію ІФН- $\gamma$  спостерігали на 38 год. Після завершення ферментації концентрація ІФН- $\gamma$  була на 10% меншою [36].

**Дріжджі *Yarrowia lipolytica*.** Як і у вищих еукаріот, ранні етапи секреції білків *Y. lipolytica* в основному йдуть шляхом котрансляції з посттрансляційною модифікацією: утворення дисульфідного зв'язку, глікозилювання та правильного згортання. Однією з переваг використання *Y. lipolytica* для конструювання рекомбінантних штамів є низьке гіперглікозилювання білків, що більше властиве клітинам ссавців, ніж дріжджам [37].

Gasmi зі співавт. досліджували спосіб внесення олеїнової кислоти (ОК) як індуктора синтезу ІФН- $\alpha 2b$  при культивуванні *Y. lipolytica* JMY1852p. При концентрації олеїнової кислоти 20 г/л після закінчення фази індукції дріжджі синтезували 240 мг/л ІФН. При чотириразовому дробному внесенні ОК по 5 г/л спостерігали зростання продукції ІФН- $\alpha 2b$  на 24%. Застосувавши метод безперервної подачі ОК зі швидкістю потоку 1,25 г/год, вдалось збільшити концентрацію ІФН на 94%. Варто зауважити, що на активність ІФН- $\alpha 2b$ , що продукується, в цьому разі впливають нові протеази, які накопичуються в

культуральній рідині через 3 год після початку культивування та сприяють деградації рекомбінантного цитокіну. Автори встановили, що додавання 10 мкМ пепстатину призводить до збільшення активності виділеного ІФН у 19 разів і становить  $26,2 \cdot 10^7$  МО/мг [38].

**Гриби *Trichoderma reesei*.** Мікроорганізм використовується у біотехнології для промислового отримання ферментів для розщеплення лігноцелюлози. Гриби *T. reesei* підходять для масштабних процесів ферментації, їх можна культивувати на недорогому поживному середовищі з відносно невеликою тривалістю процесу. Проте продукція протеаз *T. reesei* є суттєвим бар'єром для досягнення високих рівнів продукції гетерологічних білків, зокрема цитокінів, які є чутливими до дії цих ферментів. Ідентифіковано більше 30 протеаз, що секретуються *T. reesei* [39], з них 13 — здатні руйнувати молекули терапевтичних білків, таких як антитіла, ІФН- $\alpha 2b$  та інсуліно-подібний фактор росту [40].

Першою публікацією про можливість використання *T. reesei* як продуцента ІФН є праця Landowski зі співавт. На основі штаму *T. reesei* M504 з делецією 8 протеаз науковці сконструювали штам M577 здатний до синтезу ІФН- $\alpha 2b$ . Працюючи з цим штамом, автори створили та дослідили нові продуценти ІФН з делеціями за додатковими протеазами. Вчені відібрали два найактивніші штами: *T. reesei* M673 з делецією гену субтилізинпротеази *slp7* синтезував у 3,5 раза більше ІФН, а M674 з делецією гену металопротеази *amp2* — у 4 рази більше цього цитокіну, якщо порівняти з вихідним штамом M577. Також автори дослідили вплив соєвого інгібітора трипсин-протеази (SBTI) на синтез ІФН- $\alpha 2b$ . При культивуванні *T. reesei* M674 на поживному середовищі з SBTI спостерігали збільшення синтезу ІФН- $\alpha 2b$  у 2 рази [41].

**Одноклітинні водорості.** Використання клітин рослин як продуцентів терапевтичних білків має свої переваги. Зокрема, синтезований білок може накопичуватися у великих кількостях в клітині у вигляді вакуолей, що захищатиме його від дії протеаз. Тому для отримання ІФН нині розробляють експресійні платформи не лише на основі бактерій, дріжджів і грибів, але й одноклітинних водоростей. Враховуючи, що біотехнологічні системи на основі мікроводоростей поєднують властивості рослин і мікроорганізмів, вони стають альтернативними засобами для генної інженерії.

El-Ayouy зі співавт. сконструювали бінарний вектор експресії, що містить людський ген ІФН- $\alpha 2a$ . Векторну конструкцію рTRAK-IFN- $\alpha 2a$  спочатку перенесли в *Agrobacterium tumefaciens* GV3101, яку потім використовували для трансформації одноклітинних водоростей *Chlamydomonas reinhardtii* CC-124. Автори зазначають, що найбільшу кількість ІФН продукує перша трансгенна лінія *C. reinhardtii*. Рекомбінантний ІФН- $\alpha 2a$  показав протипухлинну активність *in vitro* на клітинах гепатоцелюлярної карциноми людини Hep-G2, *in vivo* — на експериментальній моделі карциноми Ерліха, а також противірусну дію на моделі вірусу везикулярного стоматиту *in vitro* [42].

Узагальнена інформація щодо вказаних вище продуцентів інтерферону наведена у табл. 3.

**Таблиця 3. Різні групи мікроорганізмів як продуценти рекомбінантних інтерферонів**

Штам / Трансформуюча конструкція	Тип ІФН	Концентрація ІФН, мг/л	Особливості процесу культивування	Джерело
<i>K. lactis</i> KLIFNG10 / pVVDRP02	ІФН- $\gamma$	0,385	Середовище YPLAC з лактозою (20 г/л), $t = 28^{\circ}\text{C}$ , тривалість 60 год	[35]
<i>K. lactis</i> GG799/hIFN- $\gamma$ / pKLAC2-hIFN- $\gamma$	ІФН- $\gamma$	1,1	Середовище (г/л): лактоза — 80, дріжджовий екстракт — 10, мікроелементи — 15 мл/л; $t = 30^{\circ}\text{C}$ , тривалість 38 год	[36]
<i>C. reinhardtii</i> CC-124 / pTRAK-IFN- $\alpha$ 2a	ІФН- $\alpha$ 2	155	Середовище TAP з канамицином, $t = 25^{\circ}\text{C}$ , тривалість 7 діб	[42]
<i>Y. lipolytica</i> JMY1852p / JME1070	ІФН- $\alpha$ 2b	425	Середовище GNY з пепстатином, $t = 28^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH} = 5$ , безперервна подача олеїнової кислоти (індуктор) 1,25 г/год, тривалість 22 год	[38]
<i>T. reesei</i> M674 / pTTv254	ІФН- $\alpha$ 2b	4500	Середовище (г/л): дріжджовий екстракт — 20, целюлоза — 40, целобіоза — 80, сорбоза — 40, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 5, $\text{KH}_2\text{PO}_4$ — 5, СВТІ — 0,4 мг/мл, $\text{pH} 4,5$ ; $t = 28^{\circ}\text{C}$ , тривалість 120 год з температурним зсувом від 28 до 22 $^{\circ}\text{C}$ упродовж 48 год	[41]

### **Висновки**

Нині розробляються різні системи експресії ІФН на основі бактерій, дріжджів, грибів та одноклітинних водоростей. При цьому якість рекомбінантного інтерферону, його функціональна активність, кількість, концентрація та вихід є найбільш важливими факторами, які слід враховувати при виборі експресійної платформи для виробництва гетерологічного білка.

### **Література**

1. Li S. F., Gong M. J., Zhao F. R., Shao J. J., Xie Y. L., Zhang Y. G., Chang H. Y. Type I interferons: distinct biological activities and current applications for viral infection. *Cell Physiol. Biochem.* 2018, 51(5): 2377—2396. doi: 10.1159/000495897.
2. Sanchez-Garcia L., Martin L., Mangués R., Ferrer-Mirallas N., Vazquez E., Villaverde A. Recombinant pharmaceuticals from microbial cells: a 2015 update. *Microb. Cell Fact.* 2016, 15:33. doi: 10.1186/s12934-016-0437-3.
3. Silva M. M., Lamarre B., Cerasoli E., Rakowska P., Hills A., Bailey M. J., Wheeler J. X., Burns C. J., Gaines-Das R. E., Jones C., Robinson C. J. Physicochemical and biological assays

- for quality control of biopharmaceuticals: interferon alpha-2 case study. *Biologicals*. 2008, 36 (6): 383—392. doi: 10.1016/j.biologicals.2008.06.003.
4. Romanov V. P., Kostromina T. I., Miroshnikov A. I., Feofanov S. A. Preparative method for obtaining recombinant human interferon  $\alpha 2b$  from inclusion bodies of *Escherichia coli*. *Russ. J. Bioorgan. Chem.* 2016, 42 (6): 631—637. doi: 10.1134 / s1068162016040154.
5. Rabhi-Essafi I., Sadok A., Khalaf N., Fathallah D. M. A strategy for high-level expression of soluble and functional human interferon alpha as a GST-fusion protein in *E. coli*. *Protein Eng. Des. Sel.* 2007, 20 (5): 201—209. doi: 10.1093/protein/gzm012.
6. Vu T. T., Jeong B., Krupa M., Kwon U., Song J. -A., Do B. H., Nguyen M. T., Seo T., Nguyen A. N., Joo C. H., Choe H. Soluble prokaryotic expression and purification of human interferon alpha-2b using a maltose-binding protein tag. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* 2016, 26 (6): 359—368. doi: 10.1159/000446962.
7. Dias P. V. S., Arthuso F. S., Oliveira J. E., Suzuki M. F., Sousa J. M., Ribela M. T. C. P., Bartolini P., Soares C. R. J. Determination of recombinant Interferon- $\alpha 2$  in *E. coli* periplasmic extracts by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. B. Analyt. Technol. Biomed. Life. Sci.* 2018, 1072: 193—198. doi:10.1016/j.jchromb.2017.11.023.
8. El-Baky N. A., Linjawi M. H., Redwan E. M. Auto-induction expression of human consensus interferon-alpha in *Escherichia coli*. *BMC Biotechnol.* 2015, 15 (1). doi: 10.1186/s12896-015-0128-x.
9. Ahmed N., Bashir H., Zafar A. U., Khan M. A., Tahir S., Khan F., Khan M. I., Akram M., Husnain T. Optimization of conditions for high-level expression and purification of human recombinant consensus interferon (rh-cIFN) and its characterization. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 2015, 62 (5): 699—708. doi: 10.1002/bab.1320.
10. Morowvat M. H., Babaeipour V., Rajabi-Memari H., Vahidia H., Maghsoudie N. Overexpression of recombinant human beta interferon (rhINF- $\beta$ ) in periplasmic space of *Escherichia coli*. *Iran. J. Pharm. Res.* 2014, 13: 151—160. PMID: 24711841.
11. Morowvat M. H., Babaeipour V., Rajabi Memari H., Vahidi H. Optimization of fermentation conditions for recombinant human Interferon beta production by *Escherichia coli* using the response surface methodology. *Jundishapur J. Microbiol.* 2015, 8 (4). doi: 10.5812/jjm.8(4)2015.16236.
12. Demers A., Kang G., Ma F., Lu W., Yuan Z., Li Y., Lewis M., Kraiselburd E. N., Montaner L., Li Q. The mucosal expression pattern of interferon- $\epsilon$  in rhesus macaques. *J. Leukoc. Biol.* 2014, 96(6): 1101—1107. doi: 10.1189/jlb.3A0214-088RRR.
13. Garcia-Minambres A., Eid S. G., Mangan N. E., Pade C., Lim S. S., Matthews A. Y., de Weerd N. A., Hertzog P. J., Mak J. Interferon epsilon promotes HIV restriction at multiple steps of viral replication. *Immunol. Cell. Biol.* 2017, 95(5): 478—483. doi: 10.1038/icb.2016.123.
14. Abdel-Fattah M., Saeed H., El-Shennawy L., Shalaby M., Embaby A., Ataya F., Mahmoud H., Hussein A. The Arabian camel, *Camelus dromedarius* interferon epsilon: Functional expression, in vitro refolding, purification and cytotoxicity on breast cancer cell lines. *PLoS One.* 2019, 14(9). doi: 10.1371/journal.pone.0213880.
15. Babaeipour V., Shojaosadati S. A., Robotjazi S. M., Khalilzadeh R., Maghsoudi N. Over-production of human Interferon- $\gamma$  by HCDC of recombinant *Escherichia coli*. *Process Biochem.* 2006, 42: 112-117. doi: 10.1016/j.procbio.2006.07.009.
16. Pandey R., Kumar N., Monteiro G. A., Veeranki V. D., Prazeres D. M. F. Re-engineering of an *Escherichia coli* K-12 strain for the efficient production of recombinant human interferon gamma. *Enzyme Microb. Technol.* 2018, 117: 23-31. doi: 10.1016/j.enzmictec.2018.06.001.
17. Babaeipour V., Shojaosadati S. A., Maghsoudi N. Maximizing production of human interferon- $\gamma$  in HCDC of recombinant *E. coli*. *Iran. J. Pharm. Res.* 2013, 12 (3): 563-572. PMID: 24250663.
18. Trinh L. B., Phue J. N., Shiloach J. Effect of methanol feeding strategies on production and yield of recombinant mouse endostatin from *Pichia pastoris*. *Biotechnol. Bioeng.* 2003, 82(4): 438—444. doi: 10.1002/bit.10587.

19. Gao M. J., Zhan X. B., Gao P., Zhang X., Dong S. J., Li Z., Shi Z. P., Lin C. C. Improving performance and operational stability of porcine interferon- $\alpha$  production by *Pichia pastoris* with combinational induction strategy of low temperature and methanol/sorbitol co-feeding. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2015, 176 (2): 493—504. doi: 10.1007/s12010-015-1590-6.
20. Tian S., Li Q., Yao W., Xu C. Construction and characterization of a potent, long-lasting recombinant human serum albumin-interferon  $\alpha 1$  fusion protein expressed in *Pichia pastoris*. *Protein Expr. Purif.* 2013, 90 (2): P. 124—128. doi:10.1016/j.pep.2013.05.002.
21. Ningrum R. A., Herawati N., Wardiana A. Development of higher molecular weight of recombinant human interferon alpha-2a by albumin fusion technology in methylotrophic yeast *Pichia pastoris*. *Inter. J. Advan. Sci. Engineer. Inform. Technol.* 2017, 7 (1): 8—14. doi: 10.18517/ijaseit.7.1.912.
22. Sinclair A. M., Elliott S. Glycoengineering: the effect of glycosylation on the properties of therapeutic proteins. *J. Pharm. Sci.* 2005, 94 (8): 1626—1635. doi: 10.1002/jps.20319.
23. Katla S., Yoganand K. N. R., Hingane S., Ranjith Kumar C. T., Anand B., Siva-prakasam S. Novel glycosylated human interferon alpha 2b expressed in glycoengineered *Pichia pastoris* and its biological activity: N-linked glycoengineering approach. *Enzyme Microb. Technol.* 2019, 128: 49—58. doi: 10.1016/j.enzmictec.2019.05.007.
24. Wang D., Ren H., Xu J. W., Sun P. D., Fang X. D. Expression, purification and characterization of human interferon- $\gamma$  in *Pichia pastoris*. *Mol. Med. Rep.* 2014, 9 (2): 715—719. doi:10.3892/mmr.2013.1812.
25. Sitia R., Braakman I. Quality control in the endoplasmic reticulum protein factory. *Nature.* 2003, 426 (6968): 891—894. doi: 10.1038/nature02262.
26. Inan M., Aryasomayajula D., Sinha J., Meagher M. M. Enhancement of protein secretion in *Pichia pastoris* by overexpression of protein disulfide isomerase. *Biotechnol Bioeng.* 2006, 93 (4): 771—778. doi: 10.1002/bit.20762.
27. Agashe V. R., Hartl F. U. Roles of molecular chaperones in cytoplasmic protein folding. *Semin. Cell Dev. Biol.* 2000, 11 (1): 15—25. doi: 10.1006/scdb.1999.0347.
28. Chang S. W., Lee G. C., Shaw J. F. Codon optimization of *Candida rugosa* lip1 gene for improving expression in *Pichia pastoris* and biochemical characterization of the purified recombinant LIP1 lipase. *J. Agric. Food Chem.* 2006, 54 (3): 815—822. doi: 10.1021/jf052183k.
29. Prabhu A. A., Veeranki V. D., Dsilva S. J. Improving the production of human interferon gamma (hIFN- $\gamma$ ) in *Pichia pastoris* cell factory: an approach of cell level. *Process Biochem.* 2016, 51 (6): 709—718. doi: 10.1016/j.procbio.2016.02.007.
30. Prabhu A. A., Bharali B., Singh A. K., Allaka M., Sukumar P., Veeranki V. D. Engineering folding mechanism through Hsp70 and Hsp40 chaperones for enhancing the production of recombinant human interferon gamma (rhIFN- $\gamma$ ) in *Pichia pastoris* cell factory. *Chem. Eng. Sci.* 2018, 181: 58—67. doi: 10.1016/j.ces.2018.02.003.
31. Prabhu A. A., Venkata Dasu V. Dual-substrate inhibition kinetic studies for recombinant human interferon gamma producing *Pichia pastoris*. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2017, 47 (10): 953—962. doi: 10.1080/10826068.2017.1350977.
32. Prabhu A. A., Veeranki V. D. Metabolic engineering of *Pichia pastoris* GS115 for enhanced pentose phosphate pathway (PPP) flux toward recombinant human interferon gamma (hIFN- $\gamma$ ) production. *Mol. Biol. Rep.* 2018, 45 (5): 961—972. doi:10.1007/s11033-018-4244-2.
33. Prabhu A. A., Chityala S., Garg Y., Venkata Dasu V. Reverse micellar extraction of papain with cationic detergent based system: an optimization approach. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2017, 47 (3): 236—244. doi: 10.1080/10826068.2016.1201685.
34. Prabhu A. A., Purkayastha A., Mandal B., Kumar J. P., Mandal B. B., Veeranki V. D. A novel reverse micellar purification strategy for histidine tagged human interferon gamma (hIFN- $\gamma$ ) protein from *Pichia pastoris*. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018, 107: 2512—2524. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.10.130.

35. Pandey R., Veeranki V. D. Optimizing secretory expression of recombinant human interferon gamma from *Kluyveromyces lactis*. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2018, 48 (2): 202—212. doi: 10.1080/10826068.2018.1425706.
36. Pandey R., Kumar N., Prabhu A. A., Veeranki V. D. Application of medium optimization tools for improving recombinant human interferon gamma production from *Kluyveromyces lactis*. *Prep. Biochem. Biotechnol.* 2018, 48 (3): P. 279—287. doi: 10.1080/10826068.2018.1425714.
37. Madzak C., Gaillardin C., Beckerich J. M. Heterologous protein expression and secretion in the non-conventional yeast *Yarrowia lipolytica*. *J. Biotechnol.* 2004, 109 (1—2): 63—81. doi: 10.1016/j.jbiotec.2003.10.027.
38. Gasmi N., Ayed A., Ammar B. B., Zrigui R., Nicaud J. M., Kallel H. Development of a cultivation process for the enhancement of human interferon alpha 2b production in the oleaginous yeast, *Yarrowia lipolytica*. *Microb. Cell. Fact.* 2011, 10. doi: 10.1186/1475-2859-10-90.
39. Adav S. S., Chao L. T., Sze S. K. Quantitative secretomic analysis of *Trichoderma reesei* strains reveals enzymatic composition for lignocellulosic biomass degradation. *Mol. Cell. Proteomics.* 2012, 11(7). doi: 10.1074/mcp.M111.012419.
40. Landowski C. P., Huuskonen A., Wahl R., Westerholm-Parvinen A., Kanerva A., Hanninen A. L., Salovuori N., Penttila M., Natunen J., Ostermeier C., Helk B., Saarinen J., Saloheimo M. Enabling low cost biopharmaceuticals: a systematic approach to delete proteases from a well-known protein production host *Trichoderma reesei*. *PLoS One.* 2015, 10 (8). doi: 10.1371/journal.pone.0134723.
41. Landowski C. P., Mustalahti E., Wahl R., Croute L., Sivasiddharthan D., Westerholm-Parvinen A., Sommer B., Ostermeier C., Helk B., Saarinen J., Saloheimo M. Enabling low cost biopharmaceuticals: high level interferon alpha-2b production in *Trichoderma reesei*. *Microb. Cell Fact.* 2016, 15 (1). doi: 10.1186/s12934-016-0508-5.
42. El-Ayouty Y., El-Manawy I., Nasih S., Hamdy E., Kebeish R. Engineering *Chlamydomonas reinhardtii* for expression of functionally active human interferon- $\alpha$ . *Mol. Biotechnol.* 2019, 61 (2): 134—144. doi: 10.1007/s12033-018-0143-y.

INCREASING OF OPERATING CHARACTERISTICS  
OF CYCLE COLUMN MASS-EXCHANGE APPARATUS

Y. Buliy, A. Kuts, P. Shiyan

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Ethyl alcohol*  
*Volatile impurities*  
*Controlled cycles*  
*Rectification*  
*Failure plates*

---

**Article history:**

Received 03.09.2019  
Received in revised form  
19.09.2019  
Accepted 30.09.2019

---

**Corresponding author:**

Kuts A.

**E-mail:**

anatolyKuts@ukr.net

**ABSTRACT**

The authors propose the energy-saving technology of cyclic rectification in mass-exchange column apparatus of cyclic action, equipped with failing plates. The purpose of the work was to determine the hydrodynamic mode of their operation — the lower and upper critical velocity of the steam at which the liquid is retained on the plates and its vaporization occurs, the study of the effectiveness of innovative technology in alcohol production, as well as the establishment of specific costs of heating steam.

The objects of study were the laboratory unit (a 300 mm experimental distillation column equipped with interchangeable mesh and flake plates without overflow devices) and a 950 mm circular rectification column with flush-shaped, circular shafts. Research methods are analytical, chemical, physico-chemical using instruments and research methods used in the production of rectified ethyl alcohol according to the state standard of Ukraine 4222:2003.

Testing of the proposed technology was carried out under the production conditions of the Storonibabsky SE «Ukr-spirt» in the process of distillation of alcohol-containing fractions and the removal of grout distillate. The technical solution provided for the extension of the residence time of the liquid on the canvas of the failure plates to extend the contact time of the vapor and the liquid and to achieve a state of phases close to equilibrium. Controlled cycles of delay and fluid overflow occurred in the selected hydrodynamic mode. It has been experimentally proved that the lower critical velocity of steam in the bubbling holes of the mesh plates is 5.4 m/s, scales — 6.5 m/s; the upper critical speed is 8 m/s and 16 m/s, respectively. The use of innovative technology in alcohol production allows to increase the degree of removal of higher fusel and methanol alcohols by 38%, increase the concentration of the main impurities by 25%, higher alcohols — by 40%, methanol — by 37% and reduce the specific consumption of heating steam in mass exchange columns devices by 34—38%.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАСООБМІННИХ КОЛОННИХ АПАРАТІВ ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ

Ю. В. Булій, А. М. Куц, **П. Л. Шиян**

Національний університет харчових технологій

У статті розроблено енергозберігаючу технологію циклічної ректифікації в масообмінних колонних апаратах циклічної дії, оснащених провальними тарілками. Визначено питомі витрати гріючої пари, гідродинамічний режим їх роботи — нижньої і верхньої критичної швидкості пари, за яких рідина утримується на тарілках та відбувається її бризковиніс, досліджено ефективність інноваційної технології у спиртовому виробництві.

Об'єкти дослідження: лабораторна установка (експериментальна ректифікаційна колона діаметром 300 мм, оснащена змінними сітчастими та лускоподібними тарілками без переливних пристроїв), ректифікаційна колона циклічної дії діаметром 950 мм з провальними тарілками, що містили поворотні сегменти, з'єднані з мехатронними підсистемами. Методи дослідження: аналітичні, хімічні, фізико-хімічні з використанням приладів, що застосовуються у виробництві ректифікованого етилового спирту згідно з ДСТУ 4222:2003.

Випробовування запропонованої технології проводились у виробничих умовах Сторонибаського МПД ДП «Укрспирт» в процесах розгонки спиртовмісних фракцій і етюрації бражного дистиляту. Технічне рішення передбачало збільшення тривалості перебування рідини на полотні провальних тарілок для подовження тривалості контакту пари і рідини з метою досягнення стану фаз, близького до рівноважного. Контрольовані цикли затримки і переливу рідини відбувалися в обраному гідродинамічному режимі. Експериментально доведено, що нижня критична швидкість пари в барботажних отворах сітчастих тарілок становить 5,4 м/с, лускоподібних — 6,5 м/с, верхня критична швидкість — 8 м/с та 16 м/с відповідно. Використання інноваційної технології у спиртовому виробництві дає змогу збільшити ступінь видалення вищих спиртів сивушиного масла і метанолу на 38%, підвищити кратність концентрування головних домішок на 25%, вищих спиртів — на 40%, метанолу — на 37% та зменшити питому витрату гріючої пари в масообмінних колонних апаратах на 34—38%.

**Ключові слова:** етиловий спирт, леткі домішки, контрольовані цикли, ректифікація, провальні тарілки.

**Постановка проблеми.** У зв'язку із зростаючими цінами на енергоносії в останні роки в Україні значно зріс інтерес до вивчення циклічних способів ректифікації. Пілотні випробовування масообмінних колонних апаратів циклічної дії довели можливість зменшення питомої витрати гріючої пари в типових брагоректифікаційних установках до 34—38%. Вирішенню цього завдання присвячені наукові праці Мак Віртера і Кеннона (1961 р.), Соммер-

Фільда, Чісна, Робінсона і Енджела (1966 р.), Шродта, Гельперіна (1976 р.), Бейрона (1980—1981 р.), Фрезера, Томсона, Сьоні, Кісса, Мацубари та ін.

Заслуговують на увагу дослідження, проведені в цьому напрямку вітчизняними та зарубіжними науковцями В. П. Кривошеєвим, О. В. Ануфрієвим, М. І. Фараховим, С. Б. Азізовим, А. А. Kiss, Н. R. Flodman, M. Matsubara, M. Petrus та ін. [1]. Незважаючи на отримані позитивні результати досліджень та переваги циклічного режиму ректифікації, обґрунтовані методами математичного моделювання, відомі способи і запропоновані експериментальні моделі не знайшли широкого практичного використання у спиртовому виробництві [2].

До недоліків їх роботи відносять залежність роботи переливних пристроїв від тиску пари, обмеженість колонних апаратів по висоті, необхідність встановлення проміжних тарілок, виникнення імпульсу запізнення відкриття та закриття рухомих клапанів тощо.

Відсутність масообміну в паровий період, коливання тиску пари в колекторі, нижніх частинах колон циклічної дії і теплообмінному обладнанні (дефлегматорах, конденсаторах) негативно впливають на якість готової продукції та роботу інших колон. Складність прийнятих конструктивних рішень для забезпечення циклічного режиму знижують надійність роботи технологічного обладнання.

Для вирішення поставленого завдання й усунення вищевказаних недоліків авторами запропонована технологія ректифікації, що передбачає циклічний перелив рідини по тарілках колонного апарата за безперервної подачі гріючої пари в нижню його частину, та конструкція колонного масообмінного апарата, яка дає змогу здійснювати контрольовані цикли затримки рідини на тарілках [3; 4]. Їх використання надає можливість підвищити ефективність масообміну між рідиною і парою на ступенях контакту, збільшити ступінь вилучення і кратність концентрування летких органічних домішок спирту, пропускну здатність технологічного обладнання за парою і рідиною та зменшити енерговитрати під час розділення багатокомпонентних сумішей.

Технічне рішення передбачає оснащення масообмінних колонних апаратів провальними тарілками (дірчастими, рейчастими, трубчастими, хвилястими та ін.) та подовження тривалості перебування рідини на їх полотні для подовження часу контакту пари і рідини та досягнення стану фаз, близького до рівноважного [5; 6]. Перевагою провальних тарілок порівняно з барботажними є збільшення площі контакту пари і рідини на 15—20% завдяки відсутності зливних пристроїв і приймальних карманів, простота конструкції, низька вартість виготовлення та монтажу, порівняно невеликий гідравлічний опір. Головний недолік — невеликий інтервал зміни швидкостей пари і рідини, в межах якого підтримується стійка та ефективна їх робота, недостатній час контакту фаз, а також перемішування рідини на суміжних тарілках.

**Мета дослідження:** визначення гідродинамічного режиму роботи провальних тарілок у циклічному режимі: діапазону значень швидкості пари, за яких рідина утримується на тарілці, провалюється через барботажні отвори і

виноситься у вигляді бризок на верхні тарілки, а також дослідження ефективності запропонованої технології та встановлення питомих витрат гріючої пари у виробничих умовах в процесах розгонки спиртовмісних фракцій і епіюрації бражного дистилату.

**Матеріали і методи.** Методи дослідження — аналітичні, хімічні, фізико-хімічні з використанням приладів та методики досліджень, що застосовуються у виробництві спирту етилового ректифікованого. Витрати рідини контролювали за допомогою витратоміра РМ, швидкість повітря у вільному перерізі колони — анемометром МС—13, в отворах тарілок — розрахунковим методом. Концентрацію летких домішок спирту визначали на газовому хроматографі з колонкою НР FFAP 50 m · 0,32 m. Аналіз дослідних проб виконували згідно з ДСТУ 4222:2003 «Горілки, спирт етиловий та водно-спиртові розчини. Газохроматографічний метод визначення вмісту мікрокомпонентів».

**Викладення основних результатів дослідження.** Необхідною умовою для визначення гідродинамічного режиму роботи провальних тарілок у циклічному режимі є визначення гранично допустимої швидкості пари (верхньої і нижньої критичної швидкості) у вільному перерізі колони та барботажних отворах. Нижня межа відповідає такій швидкості пари, за якої «провал» рідини з верхніх тарілок на нижні припиняється. Верхня межа відповідає швидкості пари, за якої розпочинається винесення рідини з нижніх тарілок на верхні (бризковиніс), що призводить до зменшення поверхні контакту фаз.

Дослідження проводили на експериментальній ректифікаційній колоні, яка була оснащена змінними контактними пристроями — сітчастими і лускоподібними, в системі вода–повітря. Характеристики колони: діаметр — 300 мм; кількість тарілок — 5 шт.; відстань між тарілками — 300 мм; діаметр барботажних отворів — 2,4 мм; площа перерізу отворів лусок арочного типу — 19,42 мм<sup>2</sup>; товщина полотна тарілки — 2 мм; вільний переріз тарілки — 2,6%; висота шару рідини на тарілках — 35 мм. Для сітчастих тарілок витрати повітря змінювали в діапазоні 1—15 дм<sup>3</sup>/с, що відповідає зміні швидкості в барботажних отворах 1,5—10 м/с, щільність зрошення змінювали від 4 до 11 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>/год). Для лускоподібних тарілок щільність зрошення коливалась в межах від 5 до 15 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>/год).

Періодичний перелив рідини з тарілки на тарілку відбувався завдяки примусовій роботі переливних пристроїв, що містили рухомі елементи, пов'язані з приводним механізмом [4].

На першому етапі досліджень були встановлені гідродинамічні режими стабільної роботи сітчастих і лускоподібних тарілок у циклічному режимі, визначені гранично допустимі значення швидкості повітря в барботажних отворах і у вільному перерізі колони. Для сітчастих тарілок: нижня критична швидкість повітря в барботажних отворах ( $V_{\text{отв.}}$ ) становила 5,4 м/с; лінійна швидкість повітря у вільному перерізі колони ( $V_{\text{лін.}}$ ) — 0,25 м/с. Для лускоподібних тарілок: ( $V_{\text{отв.}}$ ) дорівнювала 6,5 м/с; ( $V_{\text{лін.}}$ ) в барботажному режимі

роботи тарілок становила 0,5—0,9 м/с, перехідному — 0,9—1,3 м/с і струменевому — 1,3—2,0 м/с.

На другому етапі була визначена швидкість повітря в отворах ( $V_{бр.}$ ), за якої спостерігався бризковинос рідини. Для сітчастих тарілок: ( $V_{бр.}$ ) становила 8 м/с, при цьому ( $V_{лін.}$ ) дорівнювала 0,7 м/с, відносна величина бризковиносу ( $\epsilon$ ) не перевищувала 0,01 кг рідини на 1 кг повітря. Для лускоподібних тарілок: ( $V_{отв.}$ ) дорівнювала 16 м/с, ( $V_{лін.}$ ) становила 1,3—1,5 м/с, в струменевому режимі ( $\epsilon$ ) не перевищувала 0,2 кг/кг повітря, в барботажному режимі — 0,1 кг/кг. Крім того, було встановлено, що інтенсивний перелив рідини через барботажні отвори відбувається при швидкостях повітря, менших від нижньої критичної. Для дослідних типів тарілок така швидкість не повинна перевищувати 1,5—1 м/с. Отримані експериментальні дані можуть бути використані для проектування тарілчастих масообмінних апаратів циклічної дії [7; 8].

Дослідження ефективності запропонованої технології проводились у виробничих умовах Сторонибаського МПД ДП «Укрспирт» у процесах розгонки спиртовмісних фракцій і епюрації бражного дистилляту. Для досліджень була змонтована експериментальна ректифікаційна колона (РК) діаметром 950 мм, оснащена лускоподібними тарілками без зливних пристроїв, що містили поворотні сегменти, з'єднані із стандартними пневмоциліндрами двобічної дії типу DNT 63-50-PPV-A. Дія пневмоциліндрів відбувалась по чергово відповідно до програми контролера M340 фірми «Schneider Electric». При цьому поворотні сегменти відкривали та закривали переливні отвори тарілок таким чином, що перелив рідини відбувався періодично по висоті колони зверху до низу. Управління мехатронними підсистемами здійснювали сучасними комп'ютерно-інтегрованими засобами. Фрагмент експериментальної ректифікаційної колони циклічної дії показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Експериментальна ректифікаційна колона циклічної дії

У період затримки рідини на полотні тарілки відбувався масообмін між рідиною і парою, яка барботувала через отвори контактних пристроїв. У цей проміжок часу рухомий клапан закривав переливний отвір і провалу рідини через отвори не відбувалося. В момент відкривання переливного отвору швидкість пари в барботажах отворах миттєво змінювалась, ставала нижчою за критичну, за якої рідина утримується на полотні, і відбувався її «провал» на нижче розташовану тарілку. Швидкість пари змінювалась по чергово завдяки зміні вільного перерізу тарілок в заданому діапазоні значень за заданим алгоритмом.

Під час дослідження відбирались дослідні проби живлення (Ж), кубової рідини (КР), концентрату естери-сивушного (КЕС), епюрату (Е), головної фракції (ГФ), спирту етилового ректифікованого (РС) і проводився їх хроматографічний аналіз. За результатами аналізу розраховували ступінь вилучення ( $\alpha$ ) і кратність концентрування ( $\beta$ ) легких домішок спирту та їх груп. Значення ( $\alpha$ ) розраховували за відношенням концентрації домішки у живленні до її концентрації в кубовій рідині, ( $\beta$ ) — за відношенням концентрації домішки у КЕС до її концентрації у живленні:

$$\alpha = \frac{X_M}{X_O};$$

$$\beta = \frac{X_D}{X_M},$$

де  $X_M$ ,  $X_D$ ,  $X_O$  — концентрація домішок спирту у живленні, у дистилляті (КЕС) і КР, мг/дм<sup>3</sup>.

Результати хроматографічного аналізу та розрахункові значення ( $\alpha$ ) і ( $\beta$ ) в обраному гідродинамічному режимі приведені в таблиці.

**Таблиця. Результати хроматографічного аналізу дослідних проб і розрахункові значення ( $\alpha$ ) і ( $\beta$ ) легких домішок спирту**

Група домішок	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>						$\alpha$	$\beta$
	Ж	КР	КЕС	Е	ГФ	РС		
Етанол, % об.	30,5	3,7	67	30,1	92,5	96,5	8,2	2,2
Альдегіди	318,6	2,7	2302,2	0,3	1135,3	0,2	115,9	7,2
Естери	40,5	—	448615,1	—	2395	—	$\infty$	11076,9
Метанол, %	0,18	0,0003	2,7	0,0023	0,5	0,0003	600	14,9
Сивушне масло	105882,7	726,9	726463,8	1179,8	3113,2	0,8	145,7	6,9

Встановлено, що у вищевказаних умовах зростала рушійна сила процесу масообміну через збільшення градієнта концентрацій легких компонентів, покращувались дифузійні характеристики контактних пристроїв, підвищувалась ефективність їх роботи і зменшувались питомі витрати гріючої пари. Після включення експериментальної ректифікаційної колони як розгінної вихід ректифікованого етилового спирту збільшився на 3,8%. В процесі розгонки повністю видалялися естери. Порівняно з типовою розгінною колоною ступінь видалення вищих спиртів сивушного масла і метанолу збільшився

на 38%, кратність концентрування головних домішок підвищилась на 25%, вищих спиртів — на 40%, метанолу — на 37%.

Експериментально доведено, що питомі витрати гріючої пари на розгінну колону зменшилась від 25 до 16 кг/дал безводного спирту, введенного на тарілку живлення, на епюраційну колону — від 15 до 8,2 кг/дал безводного спирту. За всіма показниками отриманий спирт етиловий ректифікований і в першому, і в другому випадках відповідав вимогам для спирту сорту «Люкс».

### Висновки

Запропонована технологія циклічної ректифікації в масообмінних колонних апаратах, оснащених провальними тарілками. Визначено діапазон гранично допустимих значень швидкості пари у вільному перерізі колони і барботажних отворах тарілок, за яких відбуваються контрольовані цикли затримки рідини на їх полотні. Проведено дослідження ефективності запропонованої технології в процесах розгонки спиртовмісних фракцій і епюрації бражного дистилляту. Встановлено, що використання інноваційної технології у спиртовому виробництві дає змогу збільшити ступінь видалення вищих спиртів сивушного масла і метанолу на 38%, підвищити кратність концентрування головних домішок на 25%, вищих спиртів — на 40%, метанолу — на 37% та зменшити питомі витрати гріючої пари в масообмінних колонних апаратах в середньому на 36% порівняно з типовими.

Перспективним напрямком є проведення досліджень ефективності процесу перегонки спиртової бражки в масообмінних колонних апаратах циклічної дії, оснащених провальними тарілками, встановлення питомої витрати пари за нормативних втрат етилового спирту з бардою.

### Література

1. Кривошеев В. П., Ануфриев А. В. Основы и эффективность циклических режимов процесса ректификации. *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11—2. С. 267—271. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39322> (дата звернення 12.08.2019).
2. Kiss A. Cyclic distillation — Design, control and applications. *Separation and Purification Technology*. 2014. Vol. 125. P. 326—336.
3. Українець А. І., Шиян П. Л., Булій Ю. В., Куц А. М. Інноваційна технологія ректифікації в режимі роздільного руху фаз. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Т. 23, № 5. Ч. 2. С. 55—62.
4. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між парою та рідиною: пат. 89874 Україна: МПК (2009) B01D 3/00. № 200807767; заявл. 06.06.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5/2010. 4 с.
5. Ректифікаційна колона з керованими циклами: пат. 116565 Україна: МПК B01D 3/30 (2006.01). № 201612611; заявл. 12.12.16 опубл. 25.05.17, Бюл. № 10/2017. 5 с.
6. Спосіб масообміну між рідиною і парою в колонному апараті: пат. 136560 Україна: МПК (2006) B01D 3/00. № 201902119; заявл. 01.03.19; опубл. 27.08.19, Бюл. № 16/2019. 4 с.
7. Масообмінна контактна тарілка: пат. 136561 Україна: МПК (2006) D01D 3/30 (2006.01). № 201902122; заявл. 01.03.19; опубл. 27.08.19, Бюл. № 16/2019. 4 с.
8. Simon L. L., Kenese H., Hungerbuhler K. Optimal rectification column, reboiler vessel, connection pipe selection and optimal control of batch distillation considering hydraulic limitations. *Chemical Engineering and Processing*. 2009. No. 48. P. 938—949.
9. Kiss A. A., Bildea C. S. A control perspective on process intensification in dividing-wall columns. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2011. No. 50. P. 281—292.

## EFFICIENT USE OF ENERGY RESOURCES IN MECHATRONIC MODULE OF PACKING MACHINES

**V. Iakymchuk, O. Gavva**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Mechatronic module  
Energy resource  
Packaging*

---

**Article history:**

Received 03.09.2019  
Received in revised form  
19.09.2019  
Accepted 03.10.2019

---

**Corresponding author:**

O. Gavva

**E-mail:**

Gavvaoleksandr  
@gmail.com

---

**ABSTRACT**

---

The paper deals with the direction of control of the mechatronic systems operation, which is poorly researched and almost not realized about correction of the energy resource of the system. The authors propose a technique for implementing the energy efficiency management of a mechatronic packaging module system, which based on the classical principle of least action, according to which movement of working bodies is ensured. It is envisaged that the control system will be able to estimate the possible trajectories of movement of the working bodies by analyzing the energy costs of the mechatronic packaging system.

For the realization of this task in mathematical model an additional vector of energy control was added, the value of which significantly influences the calculation of the characteristic of the control output. It has been proposed to estimate the energy costs of a mechatronic packaging system by analyzing the integral energy characteristics obtained during the technological cycle of packaging, taking into account consumed energy. The main components of such coefficient are the performance indicators of the active energy of the mechatronic packaging system, the efficiency of the use of the active energy of the mechatronic packaging system and the efficiency of the conversion of electrical energy.

To verify the adequacy of the obtained analytical results, it was made an experimental setup of a functional mechatronic module of linear movement of structural units of group packaging. The results of analytical studies of energy consumption are presented in the form of graphs of energy consumption (total and reactive) during the implementation of the optimal law of movement of a number of consumer packages. A variable external factor for determining the quality of consumption by the mechatronic module of the energy resource was the angle of inclination of the generating plane. The above mathematical model of mechatronic packaging system allows to determine the main ways of increasing the efficiency of its energy resource taking into account structural features of the structure by: determining the quality of the control system of mechatronic packaging systems by the criterion of efficient use of electricity; development of methods for diagnosing and recovering energy resources of mechatronic packaging systems.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-7

---

## ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РЕСУРСУ В МЕХАТРОННИХ МОДУЛЯХ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН

В. М. Якимчук, О. М. Гавва

Національний університет харчових технологій

*У статті розглянуто малодослідженій і майже нереалізований напрям керування роботою мехатронних систем — корегування енергетичного ресурсу системи. Запропоновано методику реалізації управління енергетичною ефективністю мехатронної системи модулів пакування, яка ґрунтується на класичному принципі найменшої дії, згідно з яким забезпечується рух робочих органів. Передбачається, що система керування зможе оцінювати можливі траєкторії руху робочих органів шляхом аналізу енергетичних витрат мехатронної системи пакування.*

*Для реалізації поставленої задачі в математичну модель керування модулем мехатронної системи пакування додано додатковий вектор керування енергетичним ресурсом, величина якого суттєво впливає на розрахунок характеристики вихідного сигналу керування. Запропоновано оцінювати енергетичні витрати мехатронної системи пакування шляхом аналізу інтегральних енергетичних характеристик, отриманих за час технологічного циклу пакування з урахуванням спожитої енергії, ефективності використання повної енергії. Основними складовими коефіцієнта є показники ефективності використання активної енергії мехатронної системи пакування та ефективності перетворення електричної енергії.*

*Для перевірки адекватності отриманих аналітичних результатів виготовлено експериментальну установку функціонального мехатронного модуля лінійного переміщення структурних одиниць групової упаковки. Результати аналітичних досліджень витрат енергії представлені у вигляді графіків витрати енергії (загальної та реактивної) під час реалізації оптимального закону переміщення ряду споживчих упаковок. Змінним зовнішнім фактором для визначення якості споживання мехатронним модулем енергетичного ресурсу був кут нахилу твірної площини. Наведена математична модель мехатронної системи пакування дає змогу визначити основні способи підвищення ефективності використання її енергетичного ресурсу з урахуванням структурних особливостей конструкції шляхом визначення якості системи керування мехатронними системами пакування за критерієм ефективного використання електроенергії та розробки способів діагностування й рекуперації енергетичних ресурсів мехатронних систем пакування.*

**Ключові слова:** мехатронний модуль, енергетичний ресурс, пакування.

**Постановка проблеми.** Сучасні мехатронні системи пакувального обладнання є складними динамічними об'єктами, що характеризуються великою кількістю зовнішніх і внутрішніх зворотних зв'язків, нелінійністю та неста-

ціонарністю системи керування, хаотичними змінами зовнішніх впливів і навантажень.

Одним із завдань при проектуванні мехатронних систем пакування є визначення та аналіз критеріїв їх ефективності, які формуються залежно від завдань і функцій мехатронних модулів технологічного об'єкта.

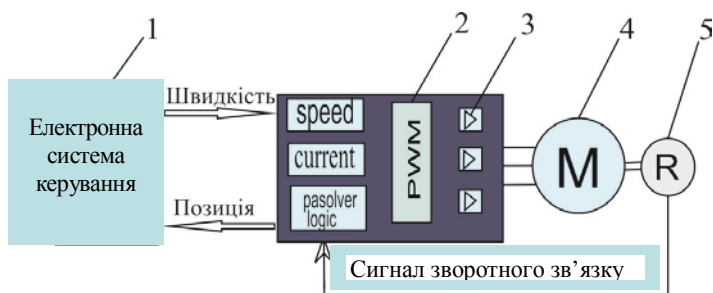
Традиційно, якість управління мехатронними системами визначаються комплексом показників. Серед основних — показник ефективного використання електричної енергії [1; 2], який характеризується такими факторами: якістю проектних рішень (вибором структури, схеми й технічних засобів керування); врахуванням динамічних режимів експлуатації та відповідного налаштування регуляторів; вибору законів зміни керуючих і збурюючих впливів.

Створення новітнього пакувального обладнання на основі мехатронних систем передбачає забезпечення саме таких вимог для ефективного використання електричної енергії під час його проектування. Однак використати єдиний концептуальний підхід до визначення критеріїв енергоефективності мехатронних систем пакування досить складно через особливості їх специфіки, яка потребує врахування впливу функціональних і конструктивних особливостей їхніх структур для кожного окремого випадку [3].

Аналіз конструкцій вітчизняних і зарубіжних мехатронних модулів пакування машин показав, що подальший їх розвиток можливий на базі використання слідкуючих приводів. Під терміном слідкуючий привод [4] розуміють привод із керуванням руху веденої ланки через зворотний зв'язок, який дає можливість точно реалізовувати параметри операцій пакування. Саме наявність у системі керування зворотних зв'язків робить слідкуючі приводи широкофункціональними пристроями, які здатні забезпечити високу точність реалізації заданих параметрів руху та позиціонування. Принцип дії таких систем полягає у безперервному порівнянні заданих кінематичних і динамічних параметрів роботи з дійсним їх значенням. Сьогодні виробники таких приводів пропонують сервосистеми з пневматичним, гідравлічним та електричним приводом.

Типову структурну схему мехатронного модуля для забезпечення обертального руху робочих органів на основі застосування сервоелектродвигунів наведено на рис. 1.

Слід зазначити, що належність сучасних мехатронних систем пакування до класу складних динамічних об'єктів вимагає спеціального аналізу особливостей процесів управління, передусім взаємодії енергетичного та інформаційного ресурсів. На шляху перетворення електричної енергії в механічну відбуваються три основні фізичні процеси: перетворення електричної енергії в механічну (і навпаки); накопичення електричної і механічної енергії в елементах, що мають властивості акумуляторів; дисипація електричної і механічної енергії тощо. Це означає, що будь-яка мехатронна система модуля пакування має власний інформаційний ресурс, який повністю визначає характер процесів у системі, забезпечує її граничні можливості (обмеження) та енергетичну ефективність.



**Рис. 1. Структурна схема приводу мехатронного модуля для забезпечення обертального руху робочих органів:** 1 — мікропроцесорна система керування; 2 — підсилювач потужності; 3 — пристрій передачі інформації; 4 — датчик зворотного зв'язку

Наявність у структурі керуючих і слідкуючих пристроїв, що впливають на параметри системи і функціональні процеси, здатні легко змінювати інформаційний ресурс системи. Типовим прикладом таких змін є корегування циклограми роботи мехатронної системи, розширення властивостей, статичних і динамічних характеристик тощо.

Поряд із цим існує ще один можливий напрям корегування роботи мехатронних систем, який є малодослідженим і майже нереалізованим, — корегування енергетичного ресурсу системи. Принципова можливість управління енергетичною ефективністю мехатронної системи модулів пакування обумовлюється класичним принципом найменшої дії, згідно з яким забезпечується рух по оптимальній траєкторії, що відповідає мінімуму дії [5]:

$$S_{,sb} = S_0 = \int_0^t L_0 dt, \quad (1)$$

де  $S_0$  — траєкторія руху робочого органа мехатронної системи;  $L_0$  — мінімум енерговитрат Лагранжа.

З формули (1) можна зробити основний висновок: мікропроцесорна система керування роботою мехатронним модулем пакування повинна містити додаткові засоби оцінки й аналізу критеріїв ефективного використання енергетичного ресурсу та мати вплив на виконавчу систему, що забезпечить рух робочого органа відповідно до оптимальної траєкторії. Це означає, що для підвищення ефективності використання енергетичного ресурсу потрібно розширити можливість інформаційного ресурсу системи керування мехатронним модулем пакування.

**Мета дослідження:** розробити математичну модель для оцінювання енергетичного ресурсу мехатронних системах пакування з урахуванням структурних особливостей взаємозв'язку енергетичних та інформаційних ресурсів.

**Викладення основних результатів дослідження.** Методика оцінки та керуванням енергетичним ресурсом мехатронного модуля передбачає розробку математичної моделі його керування.

Типову структуру керування модулем мехатронної системи пакування можна навести у вигляді [4]:

$$\dot{x}(t) = f[t, x(t), H(t, \tau), u_{\downarrow 1}(t - \tau_{\downarrow 1}), u_{\downarrow 2}(t - \tau_{\downarrow 2})], \quad (2)$$

де  $x = \{x_i\}$  — змінні фактори;  $f(\cdot)$  — вектори-функції корегування;  $H(t, \tau)$  — функції зв'язку міжзмінними факторами;  $u_1$  — характеристика системи керування,  $u_1 = \{u_{1i}\}$ ;  $u_2$  — характеристика зовнішніх впливів,  $u_2 = \{u_{2i}\}$ ;  $\tau_1, \tau_2$  — характеристика запізнень оброблення та подачі сигналів. Недоліком такої системи керування є відсутність контролю та впливу на енергетичний баланс мехатронного модуля.

Подальша модернізація системи керування передбачає створення цільової функції управлінням енергетичним ресурсом у структурі (2) і полягає в підтримці або підвищенні ефективності роботи системи, а саме:

$$E[x(t), f(\cdot), u_1(t), T] \geq E_0; \quad (3)$$

$$x[(t, T), u] \approx x_0(t, T), \quad (4)$$

де  $T$  — інтервал часу, протягом якого діє сигнал керування;  $x_0(t, T)$  — функція оптимального закону руху.

Якщо рівняння (3) доповнити до алгоритму керування (1) мехатронним модулем пакування, то поряд з кінематичними та динамічними характеристиками роботи можна отримати миттєві значення зміни енергетичного ресурсу системи  $E$  на інтервалі  $T$ . Однак значення енергетичного ресурсу будуть мати похибку запізнення інформації, величина якої залежить від часу збирання інформації і передачі сигналів.

Скористаємося алгоритмом визначення величини похибки, який використовується в складних системах керування та введемо поняття умовної міри допустимої похибки, яка у нашому випадку буде мати прогнозоване значення оцінки ефективності  $\Delta$ .

У такому випадку завданням підсистеми керування енергетичним ресурсом буде полягати у формуванні керуючого сигналу  $u_1(t)$ , який при заданих функціях керування енергетичним ресурсом враховує відхилення отриманих значень від реальних змінних на інтервалі  $T$  таким чином, що ефективність використання енергетичного ресурсу мехатронної системи  $E(x)$  істотно не знижується і завжди знаходиться в межах заданої похибки:

$$|E[x(0, t)] - E[x_0(0, t)]| \leq \Delta. \quad (5)$$

Для реалізації умови (5) процес керування  $u_1(t)$  пропонується здійснювати відомими способами, які мають різну природу його формування: адаптивну, синергетичну, програмну, обмежувальну [2—5]. Незалежно від способу формування керуючого сигналу, кінцевим результатом зміни енергетичного ресурсу в мехатронному модулі пакування є встановлення взаємозв'язку між керуючим сигналом  $u_1(t)$  для виконавчого пристрою та його складовою підсистемою  $u_2(t)$ , яка формує оптимальну характеристику ба-

лансу [7]. Таким чином робота нової системи керування мехатронним модулем пакування описується нерівністю:

$$E[x(t), u_1(t), u_2(t), T] \geq E_0. \quad (6)$$

Другим домінуючим фактором в роботі системи керування мехатронних модулів пакування є постійний аналіз енергетичних процесів під час їх роботи. За термінологічним визначенням енергетичний ресурс мехатронної системи [5; 6] — це джерело електричної енергії, що забезпечує можливість функціонування системи за рахунок використання внутрішніх запасів або перетворення енергії будь-якого виду в електричну, а також засоби передачі енергії від джерела до споживача і перетворення її характеристик. Тобто будь-яка мехатронна система пакувального обладнання повинна забезпечувати ефективність виконання технологічної задачі пакування за рахунок оптимального використання енергії, одержаної від джерела живлення.

Традиційно ефективність використання енергетичного ресурсу в машинах пакування оцінювали співвідношенням між витратами механічної енергії руху систем пакування за заданими параметрами; електричної енергії, споживаної від джерела електроживлення, та енергії втрат у структурних елементах мехатронних систем. Кількісна оцінка ефективності використання енергетичного ресурсу в машинах пакування формувалась за допомогою [8]: коефіцієнта корисної дії (ККД), коефіцієнта потужності, коефіцієнтів спотворень  $k_c$  та несиметрії, узагальненого показника енергетичної ефективності  $H$  [5] тощо. Однак усі ці характеристики відображають лише перетворення активної енергії і не враховують додаткових втрат в процесах управління рухом, зокрема якості регулювання системи пакування, особливості перетворення спектрів струмів і напруг, перехідних характеристик в часі тощо.

Для аналізу системою керування кількісної оцінка ефективності використання енергетичного ресурсу мехатронного модуля пропонується визначити коефіцієнт інтегральних енергетичних характеристик, отриманих за час технологічного циклу пакування з урахуванням спожитої енергії.

Основними складовими такого коефіцієнта є показники:

- ефективності використання активної енергії мехатронної системи пакування:

$$k_{p.a} = \frac{E_M}{E_M + \Delta E_n + |\Delta E_{0M}|}, \quad (7)$$

де  $E_M$  — витрачена енергія мехатронної системи на виконання роботи пакування за час  $T$ ;  $\Delta E_n$  — сумарна енергія втрат в усіх елементах електро-механічної системи за час  $T$ ;  $\Delta E_0 = \Delta E_M - E_{0M}$  — різниця між реальною й теоретичною (за ідеальних умов роботи) енергією мехатронної системи, витраченої на виконання роботи пакування.

З іншого боку, використання активної енергії мехатронним модулем пакування може бути визначене з урахуванням середнього значення її споживання з джерела живлення для сталого режиму роботи:

$$k_{p.a} = \frac{P_M}{P_M + \Delta P_n + |\Delta P_{0M}|}, \quad (8)$$

де  $P_M$  — механічна потужність мехатронної системи;  $\Delta P_n$  — сумарна потужність втрат у всіх елементах системи;  $\Delta P_{0M} = \Delta P_M - P_{0M}$  — різниця між реальною й теоретичною (за ідеальних умов роботи) механічною потужністю системи, витраченої на виконання роботи пакування.

Принципова відмінність оцінок ефективності використання енергетичного ресурсу мехатронної електромеханічної системи пакування за формулою (1) та (2) від узагальненого показника енергетичної ефективності  $H$  полягає у врахуванні відхилення параметрів функціональних технологічних характеристик її мехатронних модулів від заданих за допомогою сумарної різниці енергій  $\Delta E_0$ .

Наприклад, вплив додаткових зовнішніх динамічних навантажень на систему регулювання швидкості мехатронним модулем лінійного переміщення на основі використання лінійного електроприводу постійного струму під час виконання операції переміщення ряду або шару споживчих упаковок призводить, залежно від знаку неузгодженості, до зміни потужності системи. Тож запропонована методика дасть змогу проаналізувати ефективність використання енергетичного ресурсу як показника досягнення мети та визначити його зменшення.

- ефективності використання повної енергії:

$$k_{p.n} = \frac{P_M}{S}, \quad (9)$$

де  $S$  — повна потужність мехатронної системи пакування, яка характеризує режим її електроспоживання;

- ефективності перетворення електричної енергії

$$k_{p.e} = \frac{P_e}{S}, \quad (10)$$

де  $P_e$  — активна потужність, спожита мехатронною системою пакування.

Для перевірки адекватності отриманих аналітичних результатів було виготовлено експериментальну установку функціонального мехатронного модуля лінійного переміщення структурних одиниць групової упаковки (рис. 2). Робота системи керування мехатронного модуля базувалась на реалізації заданого закону руху робочого органу за умови керування енергетичним ресурсом згідно із запропонованою математичною моделлю.

Результати аналітичних досліджень витрат енергії представлені у вигляді графіків витрати енергії (загальної та реактивної) під час реалізації оптимального закону переміщення ряду споживчих упаковок. Змінним зовнішнім фактором для визначення якості споживання мехатронним модулем енергетичного ресурсу був кут нахилу твірної площини (рис. 3).

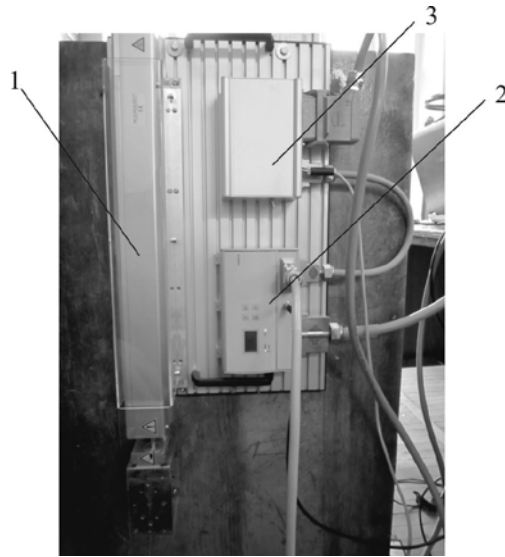


Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки мехатронного модуля з лінійним двигуном для виконаних технологічних, лінійного переміщення структурних одиниць групової упаковки: 1 — лінійний електродвигун; 2 — контролер; 3 — система зворотного зв'язку

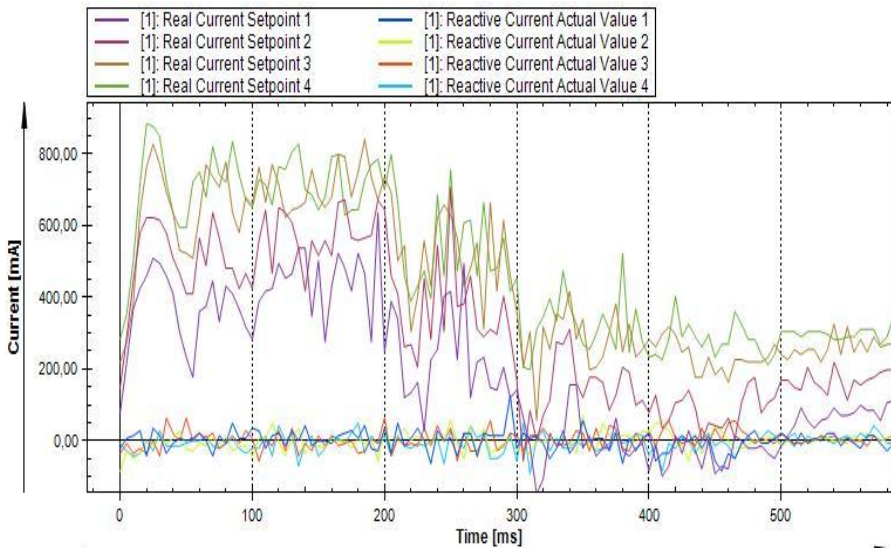


Рис. 3. Споживання енергії в мехатронному модулі лінійного переміщення під час операцій зіштовхування ряду за оптимальним законом руху (маса 4 упаковок — 2 кг, відстань 270 мм) з кутами нахилу твірної площини: 1 —  $0^{\circ}$ ; 2 —  $30^{\circ}$ ; 3 —  $60^{\circ}$ ; 4 —  $90^{\circ}$

### Висновки

Наведена математична модель мехатронної системи пакування дає змогу визначити основні способи підвищення ефективності використання її енергетичного ресурсу з урахуванням структурних особливостей конструкції шляхом:

- розробки оптимальної структури мехатронних модулів та її елементів на основі їх енергетичних характеристик споживання;
- визначення якості системи керування мехатронними системами пакування за критерієм ефективного використання електроенергії;
- розробки способів діагностування та рекуперації енергетичних ресурсів мехатронних систем пакування.

### **Література**

1. Гавва О. М., Беспалько А. П., Волчко А. І., Кохан О. О. Пакувальне обладнання: підручник. Київ: ІАЦ Упаковка. 2010. 746 с.
2. Якимчук М. В. Науково-технічні засади створення обладнання для групового пакування харчових продуктів на основі мехатронних модулів: дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.18.02 / НУХТ. Київ. 2016. 447 с.
3. Васильев А. Л. Модульный принцип формирования техники: книга. Москва: Издательство стандартов. 1989. 240 с.
4. Пашков Е. В., Осинський Ю. А. Промышленные мехатронные системы на основе пневмопривода: учебн. Сев. : СевНТУ, 2007. 401 с.
5. Конторов Д. С., Конторов М. Д., Слока В. К. Радиоинформатика: книга. Москва: Радио и связь. 1993. 286 с.
6. Крутіков Г. А. Синтез енергозберігаючих гідропневмоагрегатів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук: спец. 05.05.17 / Нац. тех. ун-т «Харків. політех. ін-т». Харків. 2011. 35 с.
7. Евдокимов А. И., Осипов В. А. Схемы энергосбережения для пневматических приводов. Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. 2003. С. 364—365.
8. Пальчевський Б. О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. Львів: Світ, 2007. 392 с.

ASSESSMENT OF HEAT-MASS TRANSFER EQUIPMENT  
BY SIMULATION MODELING

A. Cherevko, O. Mayak, S. Kostenko, A. Sardarov  
*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

**Key words:**

*Concentrated juice  
Temperature field  
Mixing device  
Heat transfer  
Vacuum drying  
Simulation  
System analysis*

**Article history:**

Received 09.09.2019  
Received in revised form  
23.09.2019  
Accepted 13.10.2019

**Corresponding author:**

O. Mayak  
**E-mail:**  
omayak777@gmail.com

**ABSTRACT**

The main heat exchange process of the proposed method for the production of concentrated products from vegetable raw materials is boiling in a vacuum evaporator of periodic action with an improved design of the steam mixer. The mixer is a spiral metal tubular with the ability to pile into its cavity.

The dependence of a heat transfer coefficient on the number of turns of the mixer, during the production of separate concentrates from vegetable raw materials has been determined.

The efficiency of using device with a simple and reliable construction for mixing and heating viscous food products has been proved. It helps also to reduce the length of the product processing and improve quality of the finished product due to better mixing and intensification of heat transfer process by using spiral metal tubular designs for the supply of coolant, which contributes to the increase of the contact area of the product with heating elements.

The scrapers are located on the helix in such a way that they block each other while driving. When rotating the mixer, the scrapers move near the surface of heat exchange wall of the apparatus, forming a screw surface, which facilitates the turbulence of the wall laminar layer of the product, which it prevents from sticking, eliminates stagnant zones, resulting in temperature equalization and uniform flow of the process.

As a result of the experiments, dependence of the heat transfer coefficient on the number of revolutions of the developed mixer was investigated, the analysis of which allowed to determine the efficiency of the use of a new design of the mixing device. This became a practical basis for systematic dynamic modeling of temperature field changes during the boiling of vegetable juice. The simulation results were obtained using Vensim system analysis software.

Duration of the actual exit to the stationary mode of heating was controlled experimentally by means of the vacuum evaporator. A simulation model of the drying process was developed, which showed that the performance of vibration vacuum drying is higher than the vibration drying by 1.67 times, by 67%, the use of vacuum during drying is advisable. Comparison of the results of physical and simulation modeling proves the prospect of the crystallization of system analysis tools for the study of heat exchange processes.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-8

## ОЦІНКА ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ШЛЯХОМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

О. І. Черевко, О. А. Маяк, С. М. Костенко, А. М. Сардаров  
Харківський державний університет харчування та торгівлі

Основним теплообмінним процесом запропонованого способу виробництва концентрованих продуктів з овочевої сировини є уварювання соку у вакуум-випарному апараті періодичної дії з удосконаленою конструкцією парової мішалки та сушіння відокремлених вичавків у вакуумній вібраційній сушарці. Мішалка являє собою спіральну металеву трубчасту конструкцію з можливістю підведення в її порожнину пари.

У результаті проведених експериментів досліджено залежність коефіцієнта тепловіддачі від числа обертів розробленої мішалки, аналіз якої дав змогу визначити ефективність використання нової конструкції перемішувального пристрою. Шкрєбки розташовані на спіралі таким чином, що вони блокують один одного під час руху. При обертанні змішувача шкрєбки переміщуються, утворюючи гвинтову поверхню, що запобігає прилипанню виробу, усуває застійні зони, в результаті чого забезпечується температурне вирівнювання та рівномірний перебіг процесу.

У результаті експериментів досліджено залежність коефіцієнта тепловіддачі від кількості обертів розробленого змішувача, що дало змогу визначити ефективність використання нової конструкції змішувача. Це стало практичним підґрунтям системно-динамічного моделювання зміни температурного поля під час уварювання овочевого соку. Результати імітаційного моделювання отримано з використанням програмного комплексу системного аналізу Vensim. Тривалість реального виходу на стаціонарний режим нагрівання контролювалася експериментально за умови використання вакуум-випарного апарата.

Розроблено імітаційну модель процесу сушіння, яка показала, що продуктивність вібровакуумного сушіння вища, ніж вібросушіння у 1,67 раза, тобто на 67%, тож застосування вакуумування під час сушіння є доцільним. Результати фізичного та імітаційного моделювання доводять перспективність використання засобів системного аналізу для дослідження тепломасообмінних процесів.

**Ключові слова:** концентрований сік, температурне поле, перемішувальний пристрій, тепловіддача, вакуумне сушіння, імітаційне моделювання, системний аналіз.

**Постановка проблеми.** Проблема ресурсозбереження під час переробки харчової сировини, зокрема плодів та овочів, і до сьогодні стоїть доволі гостро. До 60% сировини після переробки є відходами. Цим проблемам приділено увагу у [1; 2]. Крім того, існуюче обладнання часто не відповідає вимогам збереження біологічної цінності готової продукції. Відомо, що найбільш ефективним способом збереження, а іноді й збільшення біологічної активності сполук, що входять до складу вихідної сировини, є концентрування, зокрема уварювання та сушіння [3; 4].

Основними тепломасообмінними процесами запропонованого способу виробництва концентрованих продуктів з овочевої сировини є уварювання відділеного соку у вакуум-випарному апараті періодичної дії з удосконаленою конструкцією парової мішалки та сушіння вичавків в умовах вакуумування під дією вібрації.

Залежно від властивостей речовини та поставлених технологічних завдань у процесі уварювання в'язких середовищ у випарних апаратах використовуються різні конструкції пристроїв для перемішування. Складність концентрування соків із м'якоттю полягає в їхній значній в'язкості, яка в процесі концентрування швидко збільшується, що ускладнює випаровування вологи й призводить до значної зміни смаку й кольору концентрованих продуктів у результаті місцевого перегріву. Відомо, що для зниження в'язкості й збільшення плинності пюреподібної маси застосовувалася обробка пектолітичними ферментними препаратами, однак це спричиняло руйнування пектинових речовин і втрати гомогенної структури продукту.

Крім того, слід зазначити, що тепловіддача під час кипіння рідини є складним процесом. Тому при узагальненні експериментальних даних велика складність виникає під час одержання критеріїв подібності й встановлення критеріальних залежностей, які дадуть змогу описати та спрогнозувати процес [5; 6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час виробництва концентратів з рослинної сировини для вирішення проблеми збереження корисних сполук важливе значення має процес вакуумного уварювання соку. Для його ефективного перемішування можна рекомендувати якірні й скребкові мішалки. Теплові розрахунки апаратів із перемішувальними пристроями для переробки високов'язких рідких продуктів є досить складними. Існують дослідження теплообміну у високов'язких рідинах із використанням мішалок без зміни агрегатного стану середовища [9; 10].

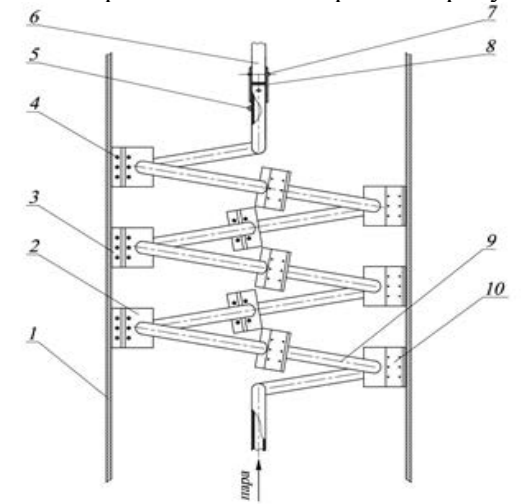
Відомі імітаційні моделі процесу тепломасообмінних процесів, зокрема інфрачервоного жарення м'ясних напівфабрикатів, які створюють системне підґрунтя для їх описання і, як наслідок, інтенсифікації та оптимізації [11; 12].

**Мета статті:** обґрунтування процесів і вдосконалення тепломасообмінного обладнання для виробництва концентратів з овочевої сировини, а саме: вакуум-випарного апарата з перемішуючим пристроєм і вакуумної вібраційної сушаки.

**Матеріали і методи.** Інструментом для визначення переваг запропонованих технічних рішень обрано системний аналіз, а саме імітаційне моделювання. Системний аналіз пов'язує й узагальнює всі засоби вдосконалення технологічного процесу, що дає змогу не тільки одержати кількісну оцінку, але й визначити шляхи впровадження його у виробництво [7]. Разом з розробкою прогресивних процесів харчової технології потрібно створювати імітаційні моделі. Імітаційне дослідження дає змогу поєднувати особливості експериментального підходу і специфіку використання засобів комп'ютерної підтримки, зокрема використання спеціалізованого програмного пакета Vensim, оптимізувати технологічний процес за обраними реакціями шляхом комп'ютерного експерименту зі зміною та комбінуванням значень критеріїв,

забезпечуючи якісний продукт [8]. Системно-динамічне моделювання передає динамічну поведінку системи, тобто її функціонування у часі. У системній динаміці ідентифікують зразки поведінки, які демонструються ключовими змінними, і надалі створюють модель, що відтворює задані зразки.

**Викладення основних результатів дослідження.** Для здійснення процесів вакуумного уварювання була розроблена нова конструкція пристрою для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів (рис. 1).



**Рис. 1. Пристрій для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів:**

- 1 — теплообмінна стінка робочої камери; 2 — нерухома частина скребка;
- 3 — рухома частина скребка; 4 — болтове з'єднання; 5 — патрубок для відведення повітря; 6 — привідний вал; 7 — штифти; 8 — втулкова муфта; 9 — спіральна металева трубчаста конструкція для підведення пари

Скребки розміщені на спіралі таким чином, що під час руху перекривають один одного. Під час обертання мішалки скребки просуваються біля поверхні теплообмінної стінки апарата, утворюючи гвинтову поверхню, що сприяє перемішуванню пристінного ламінарного шару продукту. Це запобігає його прилипанню, усуває застійні зони, унаслідок чого відбувається вирівнювання температур і рівномірний перебіг процесу.

Пристрій працює таким чином: привідний вал 6, обертаючись, приводить у рух усю конструкцію. Це забезпечується жорстким з'єднанням втулкової муфти 8 привідного вала та рухомої навколо вертикальної осі спіральної металевої трубчастої конструкції 9. З'єднання суцільної муфти 8 із валами здійснюється за допомогою штифтів 7. Під час обертання скребки рухаються, притискаючись до внутрішньої стінки робочої камери апарата 1 рухливою частиною скребка 3 за рахунок гнучкої пластини 10, що кріпиться до нерухомої частини скребка 2 болтовим з'єднанням 4. Подача теплоносія здійснюється з нижньої частини перемішувального пристрою всередину трубчастої конструкції. Щоб забезпечити належну швидкість нагрівання всієї конструкції, треба видалити повітря з перемішувального пристрою, для цього встановлений регульовальний патрубок для відведення повітря 5.

У результаті проведених досліджень процесу тепловіддачі з використанням пристроїв для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів отримано експериментальні дані, наведені на графіку залежності коефіцієнта тепловіддачі від числа обертів мішалки (рис. 2).

Для порівняння ефективності використання нової мішалки паралельно на тій самій установці були проведені експерименти з визначення тепловіддачі з використанням якірної мішалки та шнекової скребкової мішалки конструкції ХДУХТ [9]. Вибір якірної мішалки пояснюється тим, що ця конструкція широко використовується в харчовій промисловості для перемішування в'язких середовищ.

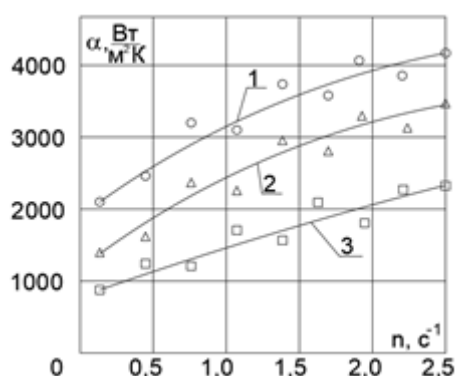


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  (Вт/(м<sup>2</sup> К)) від числа обертів мішалки  $n$  (с<sup>-1</sup>): 1 — пристрій для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів; 2 — шнекова скребкова мішалка конструкції ХДУХТ; 3 — якірна мішалка

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням числа обертів коефіцієнт тепловіддачі збільшується. Це пояснюється збільшенням швидкості вимушеної конвекції, турбулізацією потоку й зменшенням в'язкості неньютонівської рідини внаслідок руйнування її структури під впливом мішалки. Однак експериментальні значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  (Вт/(м<sup>2</sup> К)) для мішалки конструкції ХДУХТ на 20—30% менші, ніж запропонованого пристрою для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів. Такий вплив на тепловіддачу пояснюється тим, що відбувається інтенсифікація теплообміну за рахунок використання спіральної металеві трубочасті конструкції для підведення теплоносія, що сприяє збільшенню площі контакту продукту з нагрівальними елементами.

Коефіцієнти тепловіддачі в разі використання якірної мішалки на 40—50% менші, ніж в експериментальній мішалки. Це пояснюється тим, що руйнування структури харчової маси і, як наслідок, зменшення в'язкості неідеально-пластичної рідини, за тих самих чисел обертів значно менше під впливом якірної мішалки, ніж у разі застосування пристрою для перемішування та нагрівання в'язких харчових продуктів.

Розглянуто динаміку зміни температурного поля під час уварювання морквяного соку. Результати системно-динамічного моделювання отримано з використанням програмного комплексу системного аналізу *Vensim*. На рис. 3 наведено імітаційну модель процесу уварювання морквяного соку. Для вери-

фікації результатів реальне уварювання здійснювалося у вакуум-випарному апараті.

Шляхом імітаційного моделювання визначено зміну температурного поля морквяного соку за умов перемішування з частотою 0,5, 1,5 та 2,5 с<sup>-1</sup>, що забезпечує значення коефіцієнта тепловіддачі 4307, 10138 та 15306 Вт/м<sup>2</sup> К відповідно.

Екзогенні керовані змінні:

– геометричні компоненти (площа теплопередачі вала 5,7 м<sup>2</sup>, площа теплопередачі оболонки — 16,8 м<sup>2</sup>, об'єм продукту — 7,5 м<sup>3</sup>, товщина стінки, яка розділяє теплоносій та продукт — 0,003 м);

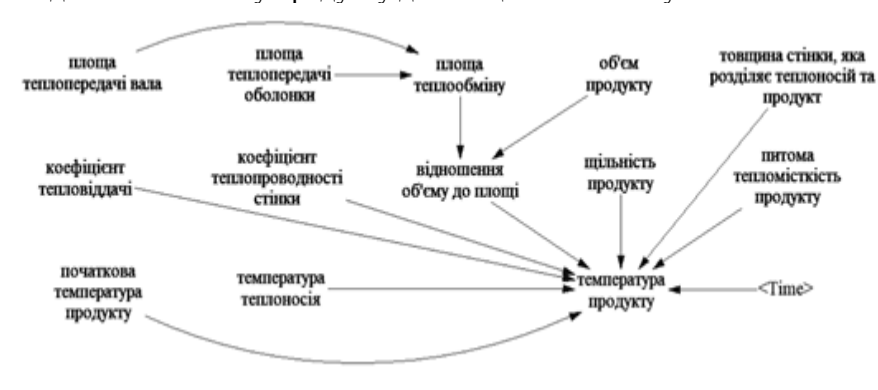
– теплофізичні компоненти (коефіцієнт тепловіддачі відповідно до частоти перемішування, коефіцієнт теплопровідності стінки — 380 Вт/(м<sup>2</sup> К), густина продукту — 988 кг/м<sup>3</sup>, питома теплоємність продукту — 4181 Дж/кг К);

– температурні компоненти (початкова температура продукту 20°C, температура теплоносія 106°C).

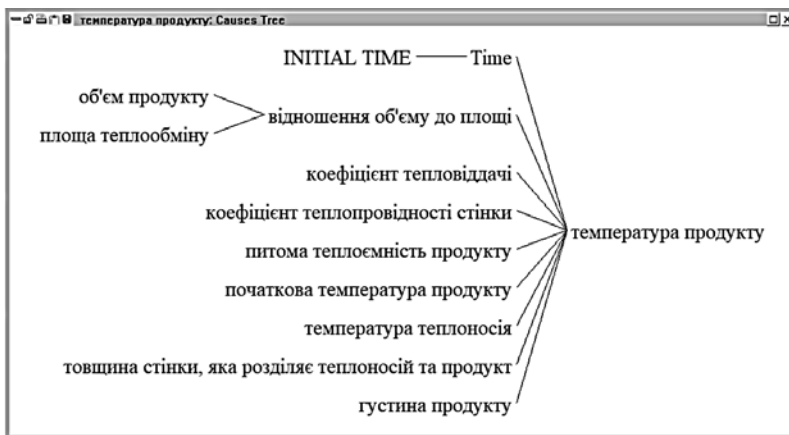
Ендогенні керовані змінні:

– площа теплообміну, що складається з площ теплопередачі валф та оболонки;

– відношення об'єму продукту до площі теплообміну.



**Рис. 3. Загальний вигляд моделі**



**Рис. 4. Дерево причин функції відгуку — температури продукту**

Модельним відгуком, або реакцією моделі є температура продукту. Усі чинники мають ефект взаємодії, тобто комбінованого впливу на реакцію моделі (рис. 4).

Графік температури продукту наведено на рис. 5.

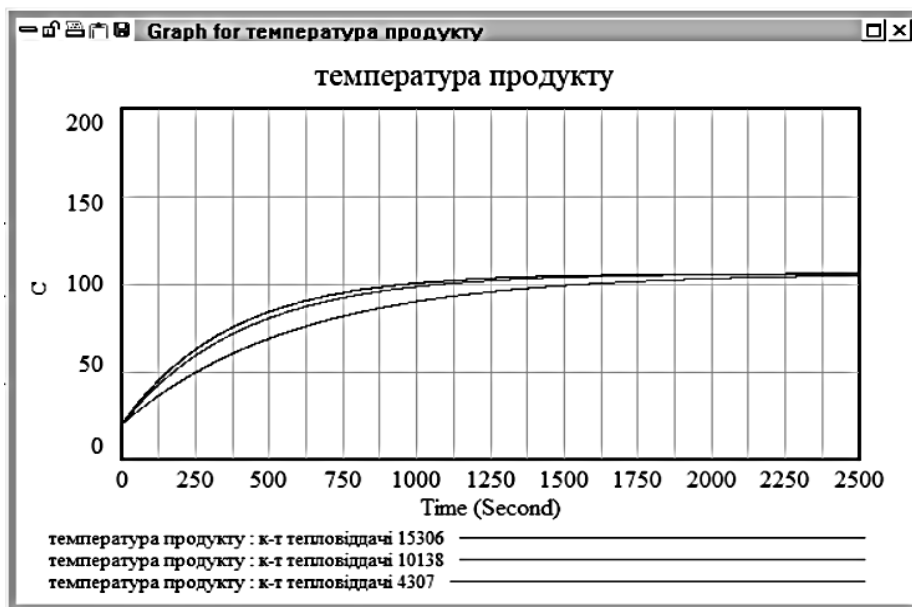


Рис. 5. Температура продукту за частоти обертання:

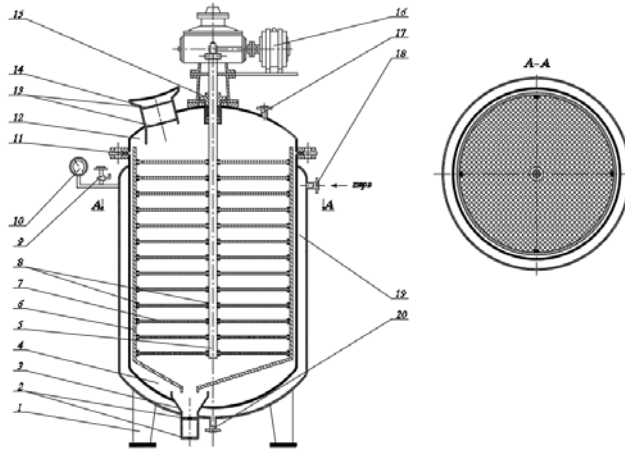
1 — 2,5 с<sup>-1</sup>; 2 — 1,5 с<sup>-1</sup>; 3 — 0,5 с<sup>-1</sup>

Для забезпечення постійної безперервної переробки овочевих вичавок, а також для підвищення якості готових продуктів була розроблена вібраційна вакуумна сушарка безперервної дії (рис. 6).

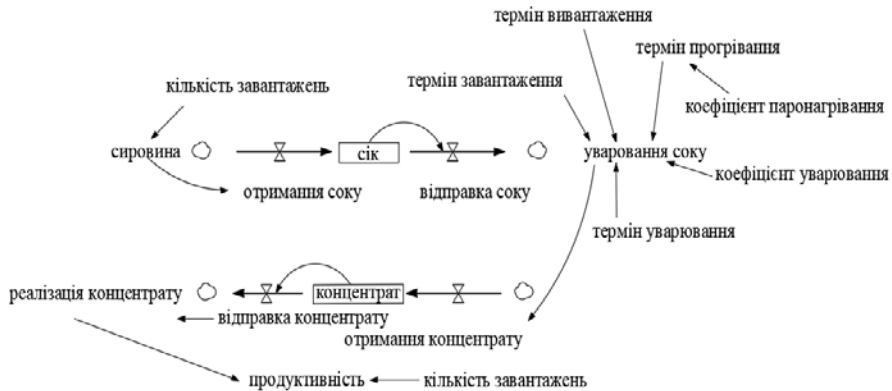
Для здійснення процесу сушіння вичавок у розробленій вібраційній вакуумній сушарці безперервної дії треба аргументувати доцільне використання вакуумування для перебігу процесу. Для цього була розроблена імітаційна модель процесу сушіння овочевих вичавок, в основу були закладені результати обробки сировини двома видами сушіння: сушіння за умов атмосферного тиску під дією вібрацією, та сушіння під вакуумом під дією вібрації.

Інструментальною базою моделювання обрано системно-динамічну технологію потокового типу (програмний комплекс *Vensim*). Одиницею виміру часу в моделі є хвилина, що відповідає терміну найменшої затримки. Загальний вигляд моделі наведено на рис. 7.

Припущення: поставка вичавок є разовою пульсуючою; затримки на операціях відповідають рекомендаціям з експлуатації; терміни теплової обробки відповідають типовому обладнанню; втрати на операціях відповідають експериментальним дослідженням; залишок продукту відсутній; якість продукту незмінна.



**Рис 6. Вібраційна вакуумна сушарка безперервної дії для сушіння овочевої сировини:** 1 — опори; 2 — запірний клапан; 3 — горловина; 4 — робоча камера; 5 — робочий вал; 6 — корпус для лотків; 7 — лотки для продукту; 8 — кріпильні елементи; 9 — клапан для видалення надлишкового повітря; 10 — манометр; 11 — затискач; 12 — кришка апарата; 13 — дозуючий клапан; 14 — завантажувальний бункер; 15 — ущільнювач для герметизації; 16 — віброгенератор; 17 — патрубок для видалення повітря; 18 — патрубок для подачі теплоносія; 19 — парова оболонка; 20 — патрубок для зливу теплоносія



**Рис 7. Імітаційна модель процесу сушіння овочевих вичавок у вібраційній вакуумній сушарці безперервної дії**

Екзогенні керовані змінні:

- масові компоненти (подрібнені вичавки);
- енергетичні компоненти (коефіцієнт вакуумування, коефіцієнт сушіння та періодичність завантаження);
- економічні компоненти (продуктивність).

Сушіння вичавок визначається множенням відправки вичавок на коефіцієнт сушіння із затримкою на періодичність завантаження. Модельним відгуком, або реакцією моделі було сушіння вичавок.

Усі фактори мають ефект взаємодії, тобто комбінованого впливу на реакцію моделі. Було використано такі рівні факторів:

- коефіцієнт сушіння дорівнює 0,775 кг/2,0 кг;
- періодичність завантаження становить 10 хв, помножені на коефіцієнт вакуумування;
- коефіцієнт вакуумування під час вібровакуумного сушіння становить 6 хв/10 хв, під час вібросушіння 10 хв/10 хв;

– продуктивність визначається множенням реалізації продукту на кількість завантажень за 1 годину та подальшим поділом на 1 годину;

Результати імітаційного моделювання процесу сушіння овочевих вичавок у вібраційній вакуумній сушарці безперервної дії представлені в таблиці.

**Таблиця. Результати імітаційного моделювання процесу сушіння вичавок у вібраційній вакуумній сушарці безперервної дії**

Характеристики	Сушіння у вакуумі з використанням вібрації	Сушіння при атмосферному тиску з використанням вібрації
Сировина, кг	2	2
Готовий продукт, кг	0,775	0,775
Періодичність завантаження, хв	10	10
Тривалість процесу, хв	60	100
Тривалість експерименту, хв	480	480
Кількість завантажень	10	6
Продуктивність, кг/год	3,875	2,325

Згідно з результатами імітаційного моделювання продуктивність сушіння у вакуумі з використанням вібрації вища на 60%, ніж сушіння при атмосферному тиску. Це зумовлено тим, що використання вакууму в масообмінних процесах сприяє збільшенню швидкості проходження процесу, за рахунок чого якість готового продукту максимально зберігається.

### **Висновки**

У результаті проведеного дослідження визначено залежність коефіцієнта тепловіддачі від числа обертів мішалки під час уварювання овочевого соку, що доводить ефективність використання розробленого пристрою для перемішування та нагрівання в'язких середовищ, оскільки сприяє скороченню тривалості процесу переробки продукту та підвищенню якості готового продукту за рахунок більш якісного перемішування та інтенсифікації теплообміну. Створена системно-динамічна модель процесу тепловіддачі, зокрема визначення змін температурного поля в апараті, робить можливим подальше комп'ютерне експериментування на підґрунті визначених практичним дослідженням зв'язків складної системи теплообміну. Розроблена імітаційна модель процесу сушіння підтвердила, що продуктивність вібровакуумного сушіння вища, ніж вібросушіння у 1,67 раза, тобто на 67%, тож застосування вакуумування під час сушіння є доцільним.

Результатом дослідження є розробка установок для виробництва концентратів: вакуумного випарного апарата з пристроєм для нагрівання та перемішування, апарата для сушіння овочевої сировини під вакуумом під впливом вібраційного перемішування.

### **Література**

1. Мамонтов М. В. Разработка и исследование сушки тонко измельченной моркови при комплексной ее переработке: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 Воронеж, 2009. 184 с.
2. Петрова Ж. А. Сохранность каротиноидов в зависимости от методов и режимов сушки. Збірник наукових праць ВНАУ «Земля України — потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави»: Київ, 2010. № 42. Т. 2. С. 70 — 77.
3. Осецький А. І., Гольцев А. М., Севастьянов С. С. Сушіння біологічної сировини в режимі кріосублимаційного фракціонування. *Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини*. VI Всеукр. науково-практ. конф. Харків, 2019. С. 29—31.
4. Zagorulko A., Zahorulko A., Kasabova K., Chervonyi V., Omelchenko O., Sabadash S., Zahorko N., Peniov O. Universal multifunctional device for heat and mass exchange processes during organic raw material processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, No 1 (96). Pp. 47—54.
5. Промтов М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества: учеб. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 136 с.
6. Панфилова В. А. Машины и аппараты пищевых производств. М.: Высшая школа, 2001. 1384 с.
7. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / О. Н. Сафонова, Ф. В. Перцевой, О. А. Гринченко, А. Л. Фощан, П. П. Пивоваров, А. В. Богомолов, Л. Н. Тищенко, Б. Ч. Гарнцарек. Харьков: 2000. 200 с.
8. Меркулова Т. В., Биткова Т. В., Кононова Е. Ю. Экономико-математическое моделирование: учебное пособие [2-е изд., дораб.]. Х.: Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2011. 276 с.
9. Аббасов Н. М. Динамические модели теплообменников. *Химия и технология топлив и масел*. 2006. № 1. С. 20—22.
10. Туголуков Е. Н. Методика расчета нестационарных тепловых процессов в емкостных аппаратах. *Хим. пром-сть сегодня*. 2006. № 11. С. 44—46.
11. Потапов В. О., Костенко С. М., Педорич І. П. Імітаційне моделювання процесів та апаратів інфрачервоного жарення м'ясних напівфабрикатів. *Вісник Національного технічного університету*. 2018. № 35. С. 71—77.
12. Potapov V., Kostenko S. System-dynamic Modeling of Complex Assessment of ARJM-0.07-1 Apparatus. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. пр. Харків: ХДУХТ, 2016. Вип. 2 (24). С. 218—225.

APPLICATION OF ECOLOGICAL METHODS FOR  
PROCESSING OF NANOFILTRATION PERMEATE  
OF WHEY AND OBTAINING NATURAL CONCENTRATES  
OF MINERAL SUBSTANCES

**V. Myronchuk, Yu. Zmievskii, V. Zakharov, O. Ustinov**

*National University of Food Technologies*

**Y. Dzyazko**

*V.I. Vernadskii Institute of General & Inorganic Chemistry*

---

**Key words:**

*Membrane technologies  
Sorption  
Ozonation  
Whey  
Wastewater*

---

**Article history:**

Received 13.09.2019  
Received in revised form  
27.09.2019  
Accepted 15.10.2019

---

**Corresponding author:**

V. Zakharov

**E-mail:**

Saharoff.911@gmail.com

**ABSTRACT**

---

This paper is devoted to the study of baro- and electro-membrane processes for filtration and concentration of multicomponent solutions with organic compounds, in order to develop technology for purification of food industry liquids (such as nanofiltration of whey, grain distillery stillage, etc.) and to obtain mineral salt concentrates. Such solutions in the dairy and alcohol industries are indirect and are presented in significant volumes. On the one hand, there is a problem with the disposal of such solutions (due to the high content of organic compounds), on the other hand, they are a source of valuable minerals that would be appropriate to use.

The research has developed a technology that allows to remove up to 96% of organic compounds from NF of whey permeate and is an improved method of sewage treatment by ozonation of the obtained solutions to reduce chemical consumption of oxygen (COC) to regulatory parameters (COC within 448 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, compared to the untreated solution which COC is 11400 mg of O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>) to allow them to be sent to wastewater or further processing and to increase the amount of treated water for technical needs.

In the process of these solutions treatment, we obtain high-quality concentrates of natural minerals that can be used for remineralization of drinking water purified by reverse osmosis.

For the components of the technological process (ozonation, microfiltration, sorption purification, reverse osmosis, electrodialysis), the values and ranges of rational parameters are substantiated.

The results of this work can be widely used. During the processing of the solution at various stages, we distinguish organic compounds and mineral salts, as a result, solving two problems: the recycling of the solution with a high content of organic compounds and obtaining concentrates of mineral salts for remineralization of water.

## **ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАНОФІЛЬТРАЦІЙНОГО ПЕРМЕАТУ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ ТА ОТРИМАННЯ ПРИРОДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН**

**В. Г. Мирончук, Ю. Г. Змієвський, В. В. Захаров, О. А. Устінов**

*Національний університет харчових технологій*

**Ю. С. Дзязько**

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського*

*У статті досліджено баро- та електромембранні процеси для фільтрації та концентрування багатокomпонентних розчинів з органічними сполуками з метою розроблення технології очищення рідин харчової промисловості (таких як нанофільтраційний пермеат молочної сироватки, післяспиртова барда тощо) та отримання концентратів мінеральних солей.*

*Такі розчини в молочній та спиртовій промисловостях є побічними продуктами і наявні в значних об'ємах. З одного боку, існує проблема утилізації цих розчинів (через високий вміст органічних сполук), з іншого — вони є джерелом цінних мінералів, які було б доцільно застосовувати.*

*У результаті дослідження розроблено технологію, що дає змогу видалити до 96% органічних сполук з НФ пермеату молочної сироватки та є удосконаленим способом очищення стічних вод шляхом озонування отриманих розчинів для зниження хімічного споживання кисню (ХСК) до нормативних показників (ХСК близько 448 мг  $O_2/дм^3$  порівняно з необробленим розчином, ХСК якого 11400 мг  $O_2/дм^3$ ) з метою можливості направлення їх у стічні води або подальшої переробки та збільшення кількості очищеної води для технічних потреб. У процесі обробки цих розчинів отримано високоякісні концентрати природних мінеральних речовин, які можуть бути застосовані для ремінералізації питної води, очищеної зворотним осмосом.*

*Для складових етапів технологічного процесу (озонування, мікрофільтрація, сорбційне очищення, зворотний осмос, електродіаліз) обґрунтовано значення та діапазони раціональних параметрів.*

*Результати проведеного дослідження можуть мати широке використання, адже в ході обробки розчину на різних етапах виділяються органічні сполуки та мінеральні солі. У результаті вирішуються два завдання: утилізація розчину з великим вмістом органічних сполук та отримання концентратів мінеральних солей для ремінералізації води.*

**Ключові слова:** мембранні технології, сорбція, озонування, молочна сироватка, стічні води.

**Постановка проблеми.** Світові тенденції розвитку харчової промисловості диктують необхідність створення маловідходних виробництв, необхідність глибокого перероблення сировинних ресурсів за рахунок їх повного

використання та мінімізацію негативного впливу стічних вод на екологію природного середовища.

Ситуацію поводження з відходами, яка склалась в Україні, потребує вирішення таких проблемних питань:

- зменшення накопичення відходів у промисловому та побутовому секторі;
- забезпечення здійснення належної утилізації та видалення небезпечних відходів;
- вирішення питання розміщення побутових відходів без урахування можливих небезпечних факторів;
- неналежний рівень використання відходів як вторинної сировини внаслідок недосконалості адміністративних, економічних і технічних засад на виробництві;
- неефективність існуючих економічних інструментів та впливу у сфері поводження з відходами.

Зазначені питання поглиблюють екологічну кризу в країні та стають гальмівними факторами розвитку національної економіки. Одним із головних шляхів урегулювання ситуації може стати створення комплексних систем переробки вторинних сировинних ресурсів. У харчовій промисловості це спонукає до розроблення нових та удосконалення існуючих схем очищення рідин харчової промисловості з використанням мембранних процесів і впровадження їх на підприємствах. При цьому вирішуються такі завдання, як вилучення цінних компонентів для подальшого їх використання, що унеможливує їх потрапляння у мережу водовідведення підприємства, забезпечується отримання очищеної води, зниження кількості та забрудненості стічних вод, зниження навантаження на очисні споруди.

З огляду на вищезазначене, тема науково-дослідної роботи є актуальною, а її результати спрямовані на удосконалення процесів і технологій переробки рідин харчової промисловості згідно із світовими тенденціями та відповідає Національній стратегії управління відходами в Україні (розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 820-р. «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року»).

**Мета дослідження:** розробка технології очищення рідин харчових виробництв баро- та електромембранними методами для отримання концентрованих розчинів мінеральних речовин природного походження та підвищення екологічності виробництва за рахунок видалення баластних сполук.

Для реалізації мети дослідження потрібно вирішити такі завдання: визначити рідини харчової промисловості, які можуть бути джерелом мінеральних речовин природного походження, придатних для ремінералізації та домінералізації питної води, обробленої зворотним осмосом; розробити спосіб максимального очищення обраних рідин від баластних, як правило органічних сполук, та обґрунтування режимів їх баро- та електромембранного концентрування; визначити раціональні режими роботи кожного із запропонованих технологічних етапів методики очищення розчину.

**Методи і обладнання.** Для дослідження процесу озонування було спроектовано та виготовлено лабораторну установку, яка мала озонатор, реактор для оброблення розчинів озномом і дві колби для барботування газів (колби Дрекслея), за допомогою яких можна було визначити концентрацію озону в газовій фазі. Вплив озонування та його ефективність оцінювали за власною методикою, одними з визначальних параметрів якої була зміна значень продуктивності мембран і значень хімічного споживання кисню.

Розроблено та налагоджено роботу лабораторних установок для проведення експериментів з розділення та концентрування оброблених озонгазовою сумішшю розчинів на мембранних установках зворотного осмосу, мікрофільтрації, електродіалізу й адсорбційного очищення від небажаних органічних сполук за допомогою активованого вугілля.

**Результати і обговорення.** За результатами теоретичного та власного практичного аналізу хімічного складу рідин харчової промисловості, таких як післяспиртова зернова барда та її ультрафільтраційний пермеат, молочна сироватка та її нанофільтраційний пермеат, встановлено, що найбільшу перспективу використання з метою отримання концентратів мінеральних речовин природного походження, які можна застосовувати для демінералізації та ремінералізації питної води, має нанофільтраційний пермеат молочної сироватки [1—5]. Його склад та відношення між мінеральними компонентами (табл. 1) наближені до рекомендованого МОЗ України вмісту мінералів у питній воді.

Середній вміст сухих речовин у нанофільтраційному пермеаті молочної сироватки становить 0,4%. В ньому майже на 50% органічних сполук (лактоза, молочна кислота тощо) та мінеральних солей (кальцій, магній, калій, натрій тощо). Саме органічні складові впливають на хімічне споживання кисню (ХСК) в розчині, що є важливим показником при оцінці безпечності стічних вод, і не дають змоги в повній мірі використовувати нанофільтраційний пермеат для отримання мінеральних концентратів.

*Таблиця 1. Середні значення концентрацій мінеральних компонентів нанофільтраційного пермеату молочної сироватки [2—5]*

Мінеральний компонент	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Концентрація, г/дм <sup>3</sup>	0,010	0,162	0,756	0,889	0,006

Органічні сполуки також є причиною активного розвитку небажаної мікрофлори, що прискорює забруднення зворотноосмотичних мембран і потребує щоденної хімічної очистки мембран, смонтеїв для тимчасового зберігання пермеату й транспортних трубопроводів.

Для видалення органічних компонентів з розчину було прийнято рішення використовувати процес озонування та подальше сорбційне очищення. Перевагою озонування порівняно з більш традиційним хлоруванням є відсутність токсичних залишків (хлору та його похідних сполук), оскільки озон розпадається в ході технологічного процесу до кисню [7—10]. По-друге, обробка озномом дає змогу одночасно проводити дезінфекцію розчинів та окислення

органічних компонентів у більш широкому спектрі [6; 8; 10]. Таке оброблення забезпечує зниження хімічного споживання кисню зазначеного розчину (ХСК близько 448 мг  $O_2/дм^3$  порівняно з необробленим розчином, ХСК якого 11400 мг  $O_2/дм^3$ ), знизити енергоспоживання на етапі зворотноосмотичного концентрування та зменшити частоту хімічного очищення технологічних емностей і мембран. У цілому це дає значний економічний та природоохоронний ефект за рахунок зниження кількості утворених стічних вод [11—13].

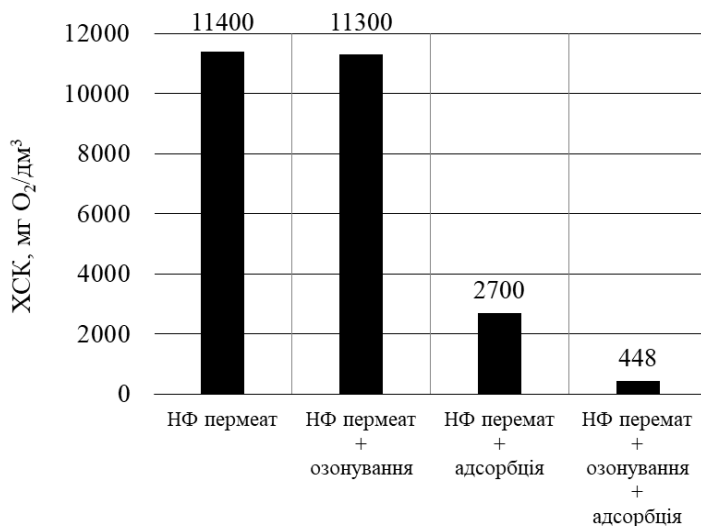
В основі дослідження лежать такі гіпотези та припущення: під час озонування відбувається окислення органічних сполук, що призводить до утворення більш простіших сполук і видалення їх невеликої кількості у вигляді вуглекислого газу. Це дає змогу покращити видалення органічних сполук на сорбційних фільтрах. Однак потрапляння озону на поверхню полімерних мембран є неприпустимим, адже це призводить до пошкодження селективного шару та втрати їхніх селективних властивостей. Тому доцільно, щоб нанофільтраційний пермеат після озонування проходив крізь шар активованого вугілля. Це дасть змогу не лише видаляти більше органічних речовин, але й забезпечувати деструкцію озону. Оброблений у такий спосіб розчин можна сконцентрувати зворотним осмосом при менших енерговитратах за рахунок меншого забруднення мембран і, відповідно, меншого опору масопереносу. Основне підтвердження цієї гіпотези проводилось шляхом порівняння роботи мембран зворотного осмосу при обробці нанофільтраційного пермеату молочної сироватки та цього ж пермеату після озонування і вугільного фільтру.

Оброблений вищезазначеним чином нанофільтраційний пермеат піддається розділенню на електродіалізі для отримання концентратів мінеральних солей.

Використання станції озонування та вугільного фільтра дало змогу зменшити початковий вміст органічних речовин нанофільтраційного пермеату молочної сироватки на 96% (рис. 1). Шляхом експериментальних і теоретичних досліджень були виведені раціональні параметри проведення процесу озонування нанофільтраційного пермеату: температура пермеату молочної сироватки  $(20\pm 5)^\circ C$ , тривалість оброблення 10...15 хв, концентрація озону в озonoгазовій суміші  $(1,2\pm 0,2)$  мг/дм<sup>3</sup>, питомі витрати озonoгазової суміші в межах 75...87 дм<sup>3</sup>/(дм<sup>3</sup> пермеату).

У подальшому порівняння продуктивності мембран при роботі з необробленим нанофільтраційним пермеатом молочної сироватки та ним же після озонування і сорбційного очищення показало позитивний вплив запропонованої обробки на мембранне розділення. Наприклад: продуктивність мембран зворотного осмосу при роботі з обробленим розчином зросла на 25...30%; електропровідність розчину при концентруванні електродіалізом для обробленого пермеату зменшувалась у середньому на 7...11%. Таким чином було встановлено підвищення ефективності мембранного розділення нанофільтраційного пермеату молочної сироватки.

Після дослідження кожного з етапів технологічного процесу було розроблено апаратурно-технологічну схему, ТУ та ТІ для отримання мінеральних концентратів природного походження.

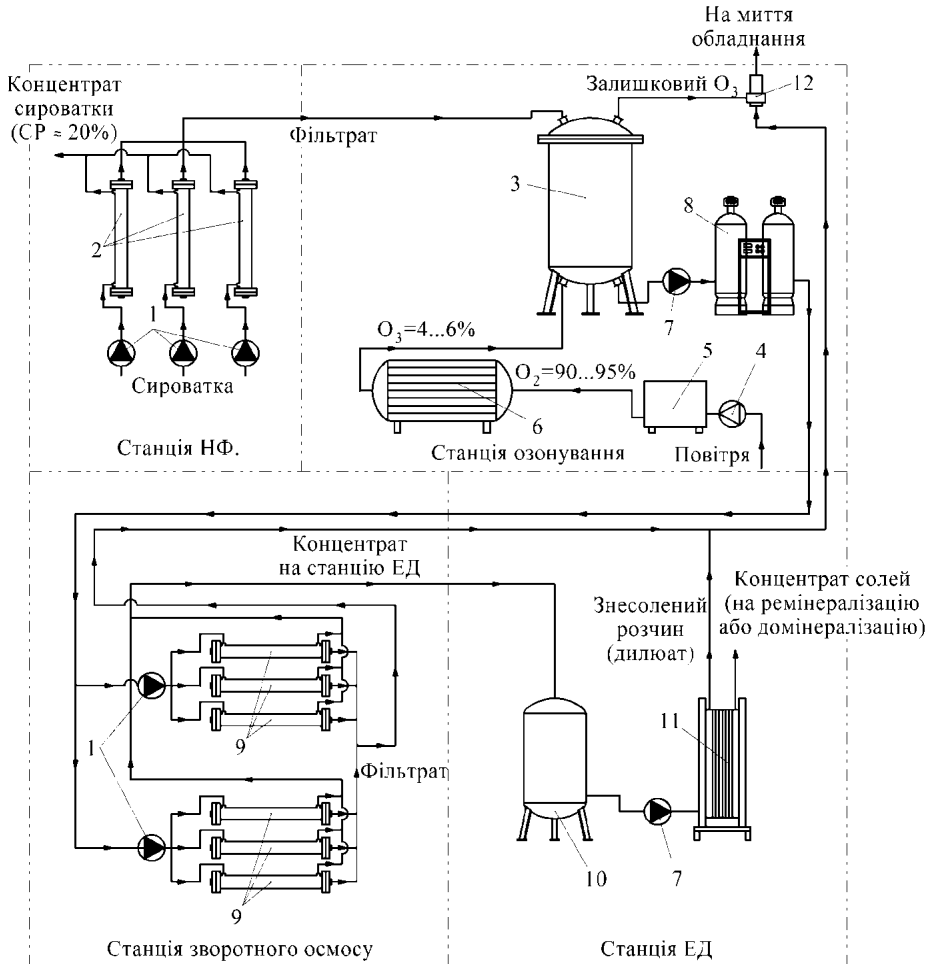


**Рис. 1. Зміна хімічного споживання кисню (XCK) у нанофільтраційному пермеаті молочної сироватки залежно від способу обробки**

Один із головних результатів роботи — технологія отримання концентратів мінеральних речовин для мінералізації питної води. Авторами пропонується апаратурно-технологічна схема (рис. 2) переробки НФ пермеату, яка передбачає його глибоке і раціональне використання. Основна ідея полягає в тому, що переважна більшість органічних домішок НФ пермеату розщеплюються озонуванням та видаляються на стадії фільтрування, і вже після цього проводиться мембранне розділення (зворотний осмос та електродіаліз), в ході якого концентрується мінеральні солі з метою їх подальшого використання.

Принцип роботи запропонованої маловідходної схеми переробки НФ пермеату такий: молочна сироватка після ванн направляється на станцію НФ, де відбувається її розділення на НФ пермеат і концентрат. Останній, із вмістом сухих речовин  $20 \pm 3\%$ , направляється на остаточне згущення у вакуум-випарні апарати та сушиться. Отриманий НФ пермеат подається на станцію озонування, де він у контактній ємності обробляється озоном. Це сприяє окисленню органічних сполук і повній дезінфекції розчину. Окислені речовини в подальшому видаляються на вугільному фільтрі. Як уже було зазначено, поєднання процесу озонування та подальшої сорбційної очистки дає змогу зменшити XCK у НФ пермеаті на 96%.

Після етапів озонування та фільтрування через шар активованого вугілля оброблюваний розчин піддається концентруванню на станції зворотного осмосу. За рахунок попереднього видалення органічних компонентів продуктивність мембран зворотного осмосу підвищується на 25...30% порівняно із способом обробки без озонування. Така обробка необхідна для первинного концентрування мінеральних солей та отримання практично чистої води, яка одразу може використовуватись на виробництві.



**Рис. 2. Схема глибокого використання НФ пермеату молочної сироватки для отримання концентратів мінеральних речовин:**

- 1 — насос високого тиску; 2 — нанофільтрація; 3 — контактний апарат для озонування;  
 4 — компресор для подачі повітря; 5 — кисневий концентратор;  
 6 — озонаторна установка; 7 — насос; 8 — вугільний фільтр; 9 — зворотний осмос;  
 10 — збірник перед ЕД; 11 — апарат ЕД; 12 — змішувач; СР — сухі речовини;  
 ЕД — електродіаліз

Отриманий концентрат проходить обробку на станції електродіалізу (ЕД), де відбувається отримання концентрату мінеральних солей природного походження, який пропонується використовувати в подальшому для домінералізації та ремінералізації питної води.

Фільтрат після зворотного осмосу та дильюат після ЕД, тобто розчини практично повністю очищені від органічних домішок і від мінеральних солей, змішуються із залишковим озоном. Кількість останнього може сягати 40...70% від початкових значень на станції озонування. Таке технічне рішення дає змогу зекономити на деструкторі озону та наситити розчин озоном із

залишковою концентрацією 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, що унеможливило розвиток патогенної мікрофлори в розчині впродовж 30...60 хв і дає змогу одразу використувати його на потреби виробництва.

Представлений технологічний процес вирішує два завдання: оброблений концентрат НФ пермеат молочної сироватки використовується як джерело мінеральних солей природного походження, а його фільтрат може бути застосований для потреб виробництва (миття, технологічні процеси) або направлений в стічні води без шкоди для навколишнього середовища.

### Висновки

Експериментально доведено позитивний вплив процесу озонування на розчини харчових виробництв з метою подальшого очищення отриманих концентратів мінеральних речовин на мембранних установках і встановлено раціональні параметри процесу озонування. На практиці було досягнуто підвищення продуктивності мембранних установок при розділенні розчину нанофільтраційного пермеату молочної сироватки обробленого озоном: у межах 25...30% для зворотного осмосу та у межах 7...11% для електродіалізу.

За результатами проведеного дослідження розроблено апаратурно-технологічну схему комплексної переробки нанофільтраційного пермеату молочної сироватки (патент України на корисну модель №113724) та проект технічних умов і технологічної інструкції на ТУ У 15.5-02070938-255:2018 «Концентрат мінеральних речовин для ремінералізації питної води» з метою документального та законодавчого забезпечення при подальшому здійсненні впровадженнь результатів досліджень у виробництво.

Отримані результати можуть бути використані не лише в молокопереробній галузі, також своє застосування вони знайдуть у спиртовій і цукровій галузях, при очищенні питної води зворотним осмосом. Використання запропонованої технології у всіх зазначених галузях дасть змогу зменшити кількість стічних вод і підвищити їх безпечність для навколишнього природного середовища.

Дослідження виконане в межах прикладної науково-дослідної роботи «Баро- та електромембранні процеси в технологіях очищення рідких середовищ харчової промисловості», № 0117U001247.

### Література

1. Lema J. M. and Martinez S. S. *Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and Environment*. London: IWA Publishing, 2017.
2. Vourch M., Balanne B., Chaufer B., and Dorang G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination*. 2008. V. 219. P. 190—202.
3. Vourch M., Balanne B., Chaufer B., and Dorang G. Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. *Desalination*. 2005. V. 172. P. 245—256.
4. Atra R., Vatai G., Bekassy-Molnar E., and Balint A. Investigation of ultra- and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. *Journal of Food Engineering*. 2005. № 67. P. 325—332.

5. Bidhendi G. N. , and Nasrabadi T. Use of nanofiltration for concentration and demineralization in the dairy industry. *Pakistan Journal of Biological Science*. 2006. № 9 (5). P. 991—994.
6. Khadre N. A. , Yousef A. E. , and Kim J. G. «Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. *Journal of Food Science*. 2001. № 66. P. 1242—1252.
7. Kells S. A. , Mason L. J. , Maier D. E. , Woloshuk S. P. Potency and fumigation characteristics of ozone. *Journal of Stored Products Research*. 2001. № 37. P. 291—309.
8. Pandiselvam R. A., Kothakota V. V., Thirupathi S. V. Efficacy and Fumigation Characteristics of Ozone in Stored Maize. *Journal of Stored Products Research*. 2001. № 37. P. 371—382.
9. Khadre N. A., Yousef A. E., Kim J. G. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. *Journal of Food Science*. 2001. № 66. P. 1242—1252.
10. Clark P. J. Ozone Cure for Some Sanitation Problems. *Food Technology*. 2004. № 58. P. 75—76.
11. Koros W. J. , Ma Y. H. , and himidzuT. S. Terminology for membranes and membrane processes (IUPAC Recommendations). *Pure and Applied Chemistry*. V.68, is.7. P. 1479—1489.
12. Loeb B. L. , Thompson C. M. , Drago J. C. and all. Worldwide Ozone Capacity for Treatment of Drinking Water and Wastewater: A Review. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*. 2012. № 34. P. 64—77.
13. Shigezo N., and Takahara H. Ozone Contribution in Food Industry in Japan. *Ozone: Science and Engineering*. 2006. № 28. P. 425—429.

THE INFLUENCE OF REGIME PARAMETERS ON  
KINETICS OF CONTINUOUS VIBRATION EXTRACTION  
OF PLANT RAW MATERIALS

**V. Zavialov, T. Myisura, Yu. Zaporozhets, N. Popova**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Vibration extraction  
Vegetable raw materials  
Mode parameters  
Mass transfer, Kinetics,  
Hydraulic resistance  
Pulsating flow*

---

**Article history:**

Received 11.09.2019  
Received in revised form  
27.09.2019  
Accepted 11.10.2019

---

**Corresponding author:**

V. Zavialov

**E-mail:**

zavialov@nuft.edu.ua

---

**ABSTRACT**

The influence of regime parameters of the process of continuous vibroextraction on the kinetics of individual stages of extraction of the target components from raw materials of plant origin has been presented. It has been shown that for continuous process external mass transfer is affected not only by the intensity of oscillations, but also by the depth of interaction of individual pulsating flows, which are generated simultaneously by the transport and filter elements of the plates, which simultaneously carry out counter-current phase separation. Low-frequency mechanical oscillations realize the intense movement of particles in the volume of the apparatus, as well as contribute to a sharp increase in the velocity of each particle relative to the extractant, which, in turn, leads to an increase in the specific active surface of interphase contact and increase the speed of convective diffusion, regardless of the degree of subfraction. The availability of information on kinetic coefficients and their change during the process, depending on the hydrodynamic conditions and technological parameters, provides an opportunity to determine the optimal extraction time, the remainder of the target component in the meal, as well as the efficiency of the process design.

The results of the experiments are summarized in the functional coordinates of the mass transfer coefficient of the Reynolds criterion, which reflect the influence on the external mass transfer of turbulent pulsating flows generated by the transverse elements of the vibrating transport devices.

The hydrodynamic mode of operation of the device is experimentally established, which provides a rapid growth of the mass transfer coefficient, stabilizing at a certain level, due to the decrease in the screening conditions of the particles of raw materials among themselves. The mathematical description of the external mass transfer under conditions of non-stationary transfer of a substance during vibration extraction is obtained in the form of equations for calculating the current concentration of the target component and the minimum time to reach the equilibrium state of the process, which can be used in the design and optimization of solid-phase extractors.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-10

---

## ВПЛИВ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ НА КІНЕТИКУ БЕЗПЕРЕРВНОГО ВІБРОЕКСТРАГУВАННЯ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

В. Л. Зав'ялов, Т. Г. Мисюра, Ю. В. Запорожець, Н. В. Попова  
Національний університет харчових технологій

*У статті досліджено вплив режимних параметрів процесу безперервного віброекстрагування на кінетику окремих стадій вилучення цільових компонентів із сировини рослинного походження. Показано, що для безперервного процесу на зовнішній масообмін впливає не тільки інтенсивність коливань, але й глибина взаємодії окремих пульсуючих потоків, що генеруються одночасно транспортувальними та фільтрувальними елементами тарілок, які здійснюють протитечійне розділення фаз. Низькочастотні механічні коливання реалізують інтенсивний рух частинок в об'ємі апарата, а також сприяють різкому зростанню швидкості кожної відносно екстрагенту, що, у свою чергу, призводить до збільшення питомої активної поверхні міжфазового контакту та підвищення швидкості конвективної дифузії, незалежно від ступеня подрібнення твердої фази. Наявність інформації про кінетичні коефіцієнти та їх зміну під час процесу залежно від гідродинамічних умов і технологічних параметрів надає можливість встановлювати оптимальний час вилучення, залишок цільового компонента в шроті, а також ефективність апаратного оформлення процесу.*

*Результати дослідів узагальнено у функціональних координатах коефіцієнта масовіддачі від критерія Рейнольдса, що віддзеркалюють вплив на зовнішній масообмін турбулентних пульсуючих струменів, генерованих переточними елементами вібротранспортувальних пристроїв.*

*Експериментально встановлено гідродинамічний режим роботи апарата, що забезпечує стрімке зростання коефіцієнта масовіддачі, стабілізуючись на певному рівні, внаслідок зниження умов екранування часток сировини між собою. Математичний опис зовнішнього масообміну в умовах нестационарного перенесення речовини при віброекстрагуванні отримано у вигляді рівнянь для розрахунку поточної концентрації цільового компонента та мінімального часу досягнення рівноважного стану процесу, які можливо використовувати при конструюванні й оптимізації твердофазових екстракторів.*

**Ключові слова:** віброекстрагування, рослинна сировина, режимні параметри, масообмін, кінетика, гідравлічний опір, пульсуючий потік.

**Постановка проблеми.** Процес вилучення цільових компонентів з рослинної сировини — один із найскладніших та найважливіших технологічних процесів харчових, фармацевтичних та інших галузей промисловості [1; 2]. На його ефективність впливають гідродинамічний стан робочого середовища, технологічні умови перебігу процесу, що, у свою чергу, потребує індивідуального технологічного режиму, оскільки речовини, які екстрагуються,

суттєво різняться за своїми фізико-хімічними властивостями та фракційним складом. Існуюча теорія екстрагування, зокрема процесу, заснованому на використанні віброефектів, до останнього часу не забезпечила розв'язання багатьох практичних задач. Тому для розроблення досконалої віброекстракційної апаратури та відповідних технологій, встановлення фізичної суті процесу в кожному конкретному випадку вилучення цільових компонентів необхідні подальші ґрунтовні дослідження.

Робота екстракційної апаратури відбувається у виключно складних умовах. Для належного аналізу її роботи та розрахунку необхідно враховувати численні фактори, що впливають на хід процесу, кінетику, гідродинаміку, тепло- та масообмін. Одночасно теоретично врахувати всі ці фактори практично неможливо, тому, як правило, автори розглядають питання ізольовано [3—9].

Незалежно від стану компонентів, що вилучаються з клітини сировини, екстрагування характеризується внутрішньою молекулярною дифузією речовини та масоперенесенням на її поверхні, тому кожному складову в рівній мірі необхідно враховувати при конструюванні апаратури й удосконаленні існуючих екстракційних технологій. Слід зазначити, що у віброекстракторах підведення енергії до взаємодіючих фаз здійснюється через віброперемішувальні пристрої. Конструкції таких пристроїв різноманітні залежно від процесно-технологічних завдань.

Роль низькочастотних механічних коливань полягає не тільки в тому, що вони створюють інтенсивний рух частинок в об'ємі апарата, але й сприяють різкому зростанню швидкості кожної частинки відносно екстрагента, що, у свою чергу, призводить до збільшення питомої активної поверхні міжфазового контакту та підвищення швидкості конвективної дифузії, незалежно від ступеня подрібнення твердої фази.

Так, при зворотно-поступальному русі тарілок на робочу суспензію діє два фактори: коливальні імпульси тарілок і турбулентні пульсуючі струмені із соплових каналів. Будучи компактними, простими за своїм складом, віброекстрактори періодичної та безперервної дії надають можливість при відносно невеликих витратах підведеної енергії отримати високі швидкості перебігу процесу екстрагування в системі рідина–тверде тіло з малою різницею густин фаз [10; 11]. Тому застосування віброекстрагування в харчовій та фармацевтичній технологіях є одним з перспективних способів інтенсифікації екстракційного процесу при переробленні дрібнофракційної рослинної сировини та її відходів.

**Мета дослідження:** обґрунтувати і встановити вплив режимних і конструктивних параметрів на кінетику вилучення цільових компонентів із рослинної сировини кореневого та листового походження при безперервному віброекстрагуванні.

**Методи дослідження.** Використані методи математичного моделювання технологічних процесів та узагальнення результатів експериментів. Основні масообмінні характеристики віброекстрагування одержували теоретичними

та експериментальними методами, заснованими на класичних положеннях і законах, запропонованих В. М. Лисянським, Г. А. Аксельрудом.

**Викладення основних результатів дослідження.** Як правило, в апаратах, де перемішування здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоків, вібраційна система являє собою набір перфорованих дисків спеціальної конструкції, зібраних на рухомій штанзі (штангах) у так звані пакети. Загальні тенденції забезпечення масообміну в апаратах такого типу визначили ряд вагомих за впливом на процес загальних факторів. Це частка вільного перетину секціонуючих перегородок, а також розмір, форма, конфігурація отворів, через які проходять фази, що взаємодіють, відстань між тарілками. Неоптимальне співвідношення цих показників погіршує умови дисипації енергії, зменшує пропускну спроможність та міцність самої тарілки, а відтак, конструкція насадки є важливим фактором, що визначає техніко-економічні показники роботи всього апарата [12]. Крім того, з метою зменшення рівня поздовжнього перемішування в колонних апаратах безперервної дії можуть додатково встановлюватись між тарілками секціонувальні пристрої. Водночас складність гідродинамічної обстановки в кожному конкретному випадку при вібраційному перемішуванні створює значні труднощі для дослідження та конструювання насадок, що, у свою чергу, стримує впровадження апаратів з вібруючими пристроями в переробних галузях промисловості.

Досліджувався вплив низькочастотних механічних коливань як джерела створення пульсуючих вібротурбулізуючих знакозмінних струменів у системі рідина–тверде тіло на кінетику при безперервному екстрагуванні із рослинної сировини. Конструкція лабораторного віброекстрактора безперервної дії за схемою, розробленою на кафедрі ПАХВ НУХТ [13], має циліндричний корпус діаметром 0,3 м і висотою 1,5 м з приєднаним *U*-подібним завантажувальним пристроєм. Для подачі екстрагенту в останній верхній частині апарата закріплений душовий розподілювач і розвантажувальний пристрій у вигляді лотка. В середині колони розміщено зрівноважений вібротранспортувальний пристрій, що складається із системи штоків із закріпленими на них транспортувальними тарілками спеціальної конструкції (залежно від виду рослинної сировини: трав'яного, листового, кореневого, плодово-ягідного, зернового походження) з можливістю регулювання їх кількості, відстані між ними, частоти коливань та амплітуди.

Через розподілювач апарат заповнюється екстрагентом, що подається на рівень верхньої тарілки. Одночасно встановлюється заданий амплітудно-частотний режим коливання вібротранспортувальної системи. Підготовлена до екстрагування подрібнена рослинна сировина через завантажувальний пристрій направляється під нижню тарілку, рухається безперервно вздовж апарата за допомогою вібротранспортувальних тарілок протитечіно екстрагенту з поступовим вилученням цільових компонентів і вивантажується з апарата у вигляді шроту через лоток. Готовий екстракт через фільтр відводиться з апарата. Протитечіне розділення фаз для всіх типів досліджуваних конструкцій вібротранспортувальних тарілок здійснюється за рахунок різниці гідравлічних опорів перетоку робочого середовища через транспортувальні

відкриті елементи, фільтрувального ефекту через фільтрувальні елементи та седиментації часток твердої фази на поверхні тарілок [13]. Досліджувались конструкції вібрувальних перегородок з переточними елементами у вигляді сопел з діаметром  $d_c = 0,015$  м, що входять у закріплені на перегородці гнучкі патрубки діаметром 0,040 м і висотою 0,045 м. Частка «живого перерізу» апарата в зоні встановлення тарілки складала в межах:  $\varepsilon = 0,055 \dots 0,142$ .

Для забезпечення термостатичного ефекту установка оснащена внутрішнім і зовнішнім електрообігрівом у вигляді вмонтованих ТЕНів. Контроль і регулювання температурного режиму здійснювались електроконтактним термометром. Організована циркуляція екстрагенту виконувалась через циркуляційний контур. Досліди проводились на системах «вода–бурякова маса» та «вода–шишковий хміль» із відповідним встановленим температурним режимом на рівні  $346 \dots 351^\circ\text{K}$ , та параметрами коливань у межах: амплітуда дискретно:  $(5, 10, 15) \cdot 10^{-3}$  м; частота: 2...4 Гц. Співвідношення твердої та рідкої фаз досягалось регулюванням частоти обертання шнека завантажувального пристрою. Пробі відбирались у трьох точках: із зони встановлення тарілки; на деякій відстані від неї; в зоні вивантаження твердої фази. Для визначення вмісту залишку цільових компонентів у буряковій масі її подрібнення здійснювалось лабораторним подрібнювачем РТ-1.

Для проектування екстракційної апаратури відповідно з її продуктивністю за твердою фазою або екстракту необхідно знати кінетичні коефіцієнти: коефіцієнт дифузії розчинної речовини всередині рослинної сировини та коефіцієнт масовіддачі від поверхні твердого тіла до екстрагента. Такі дані уможливають визначення оптимального часу процесу, кінцевих концентрацій речовини в шроті та екстрагенті, а також конструктивні параметри апарата.

Для встановлення дифузійних властивостей досліджуваної сировини розрахунки виконувались за водорозчинними сухими речовинами згідно з методикою В. М. Лисянського, заснованою на режимі киплячого шару під розрідженням. Вміст сухих водорозчинних речовин в екстрагенті та сировині визначався рефрактометричним методом та за балансними рівняннями. Під час опрацювання експериментальних даних розрахунок кінетичних коефіцієнтів виконувався за методикою Г. А. Аксельруда для прямиоточного процесу, з виділенням регулярного режиму. Пульсаційний критерій Рейнольдса  $Re_n = w_0 d / \nu$  розраховувався за значенням початкової середньоінтегральної та середньої по перерізу транспортувального елемента (сопла) швидкості пульсуючого потоку  $w_0 = \frac{2Af(1-\varepsilon)}{\varepsilon}$ , де  $\varepsilon$  — загальний живий переріз, що є відношенням площі отворів тарілки та зазору по периферії (в зоні встановлення тарілки) до площі поперечного перерізу апарата;  $A, f$  — відповідно, амплітуда коливань вібротранспортувальної системи. Тобто  $Re_n = \frac{4A^2 f(1-\varepsilon)}{\nu \varepsilon}$ .

Експериментальні дослідження. Слід зазначити, що під час встановлених конструктивних і технологічних параметрів процесу (гідромодуль, темпера-

тура, навантаження апарата по твердій фазі) інтенсифікація процесу може бути досягнута за рахунок режимних параметрів (частоти та амплітуди коливань вібротранспортувальної системи). Результати досліджень впливу гідродинамічного режиму, створеного вібротранспортувальною системою на зовнішній масообмін для бурякової сировини, узагальнено на рис. 1.

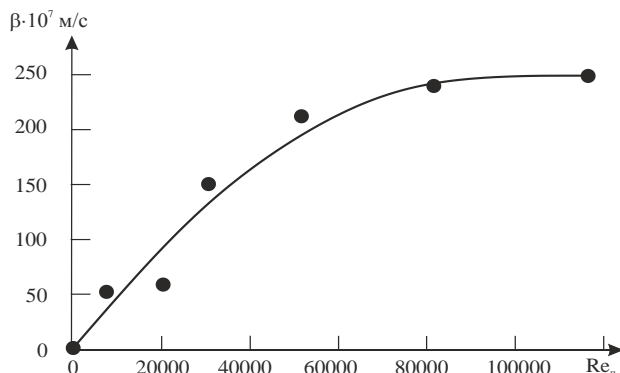


Рис. 1. Залежність коефіцієнта масовіддачі при екстрагуванні цукрової буряка від критерію Рейнольдса

Результати свідчать, що із збільшенням інтенсивності коливань зростає активізація міжфазової поверхні внаслідок зниження умов екранування часток сировини між собою. Тобто повне усунення екранування досягається при значеннях коефіцієнта масовіддачі близько після  $225 \cdot 10^{-7}$  м/с, що відповідатиме критерію Рейнольдса 60000.

Отримані аналогічні узагальнюючі результати для хмельової сировини, представлені на графіку (рис. 2), узгоджуються з попередніми, отриманими для бурякової сировини. У цьому випадку інтенсивність коливань вібротранспортувальної системи, починаючи від критерію Рейнольдса (40000 і далі), значно збільшує зовнішнє масоперенесення та сприяє переходу хмельової сировини у псевдозріджений стан.

Слід зазначити, що особливістю реального процесу вилучення цільових компонентів із рослинної сировини є зміна у часі фізичних умов в робочому об'ємі апарата, що визначаються як гідродинамічними умовами процесу, так і властивостями фаз. Тому для обґрунтування зв'язку між конструктивними й технологічними параметрами процесу в заданих технологічних межах дієвим методом є використання математичного опису процесу. Тож при підведенні енергії в робочу зону апарата у вигляді пульсуючих потоків середовища відбувається рівномірне її розподілення у поперечному перерізі апарата.

Створений знакозмінний турбулентний потік реалізує достатньо ефективні умови обтікання усієї поверхні кожної частинки твердої фази. Це явище можливо регулювати зміною інтенсивності коливань вібротранспортувальної системи (амплітудою та частотою) залежності від виду середовища та необхідної заданої продуктивності апарата по твердій фазі. Наведені обставини належним чином узгоджуються з фізичним змістом коефіцієнта масовіддачі та відкривають можливості для аналізу режиму роботи апарата,

встановлення мінімального часу екстрагування й поточної концентрації насичення екстрагента цільовим компонентом.

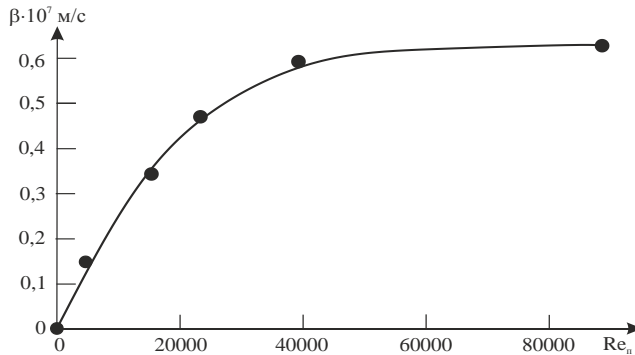


Рис. 2. Залежність коефіцієнта масовіддачі при екстрагуванні хмелевої сировини від критерія Рейнольдса

У рамках представленого дослідження розглянемо відповідні питання, що стосуються моделювання масообміну в екстракторах неперервної дії колонного типу. Отже, враховуючи реальні умови екстрагування, що супроводжується ефектом екранування міжфазової поверхні та нерівномірністю обтікання поверхні екстрагентом тощо, в рівняння конвективної дифузії введемо доданок, який враховує квадратичний ефект нерівномірності перенесення цільового компонента в екстрагент за аналогією з рівнянням регресії:

$$\begin{cases} \frac{dc}{dt} = \beta(C^* - C) + \gamma(C^* - C)^2 \\ C(t_0) = C_0, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\beta$  — коефіцієнт масовіддачі, віднесений до питомої поверхні контакту фаз,  $c^{-1}$ ;  $t$  — час зміни концентрації розчиненої речовини,  $s$ ;  $\gamma$  — емпіричний коефіцієнт (коефіцієнт уточнення аналогічний коефіцієнту активності поверхні), що залежить від зовнішньої дифузійної нерівномірності перенесення речовини;  $C$  та  $C^*$  — відповідно, поточна концентрація речовини в екстрагенті та її рівноважне значення,  $кг/м^3$ .

Враховуючи граничні умови  $C(t_0) = C_0$ , після інтегрування та використовуючи метод невизначених коефіцієнтів, перейшовши до експоненти, було отримано розв'язок рівняння (1) у вигляді:

$$C(t) = C^* - \frac{\beta(C^* - C_0)}{e^{\beta(t-t_0)}(\beta + \gamma(C^* - C_0)) - \gamma(C^* - C_0)}. \quad (2)$$

Для початку процесу масовіддачі, коли  $t_0=0$  і концентрація речовини в екстрагенті  $C_0=0$ , отримуємо рівняння для розрахунку поточної концентрації екстрагованої речовини:

$$C(t) = C^* - \frac{\beta C^*}{e^{\beta t} (\beta + \gamma C^*) - \gamma C^*} = C^* \left( 1 - \frac{\beta}{e^{\beta t} (\beta + \gamma C^*) - \gamma C^*} \right), \quad (3)$$

Тоді мінімальний час екстрагування визначиться за умови:

$$C^* - C(t) = E, \quad (4)$$

де  $E > 0$  — відхилення поточної концентрації від рівноважної (задане мале число).

Підставимо  $C^* - C(t) = E$  у (3) та після логарифмування отримаємо рівняння для встановлення мінімального часу процесу для досягнення рівноважного стану системи, тобто час, у який вперше відхилення від рівноважного стану буде дорівнювати  $E$ , а функція  $C(E)$  монотонно зростатиме. Отже, при  $t > t_{\max}$  рушійна сила процесу досягне заданого малого значення  $E$ , або, інакше,  $C^* - C(t) < E$ :

$$t_{\min} = \frac{1}{\beta} \ln \frac{C^* (\beta + \gamma E)}{E (\beta + \gamma C^*)}. \quad (5)$$

Слід зазначити, що при використанні отриманих рівнянь для визначення поточного значення концентрації або побудови екстракційних кривих за заданих умов процесу важливо знайти коефіцієнт  $\gamma$ , що враховує дифузійну нерівномірність при вилученні цільових компонентів. Тобто цей коефіцієнт може бути представлений як співвідношення коефіцієнтів  $D_{\tau}/D_{\pi}$ , де  $D_{\tau}$ ,  $D_{\pi}$  — відповідно, коефіцієнт молекулярної дифузії тканини речовини за умови відсутності екрануючого ефекту та в умовах реального процесу.

### **Висновки**

Встановлено, що інтенсифікація процесу віброекстрагування може бути досягнута за рахунок режимних параметрів процесу (частоти та амплітуди коливань вібротранспортувальної системи). Сумісна дія цих параметрів визначає гідродинамічний стан процесу в зоні дії пульсуючих потоків.

Поступове збільшення критерію Рейнольдса, починаючи близько з 15000—20000, призводить до стрімкого зростання коефіцієнта масовіддачі, стабілізуючись на певному рівні, внаслідок зниження умов екранування часток сировини між собою, що, у свою чергу, означає перехід сировини у псевдозріджений стан. На цій стадії процесу лімітуючою стає внутрішня молекулярна дифузія. Тому раціональними режимними параметрами роботи віброекстрактора, що забезпечують достатнє для ефективного зовнішнього масообміну оновлення поверхні контакту фаз з низьким рівнем поздовжнього перемішування, слід вважати амплітуду коливань вібротранспортувальної системи в межах  $(10 \dots 15) \cdot 10^{-3}$  м з частотою 2...4 Гц.

Результати математичного моделювання зовнішнього масообміну в умовах нестационарного перенесення речовини при віброекстрагуванні у вигляді рівнянь для розрахунку поточної концентрації цільового компонента та

мінімального часу досягнення рівноважного стану процесу можливо використувати при конструюванні та оптимізації твердофазових екстракторів.

### **Література**

1. Поперечний А. М., Боровков С. О. До питання інтенсифікації процесу екстрагування в системі «тверде тіло–рідина». *Обладнання та технології харчових виробництв*: Темат. зб. наук. пр. Донецьк: ДонНУЕТ, 2007. Вип. 16. С. 104—109.
2. Поперечний А. М., Боровков С. О. Обґрунтування створення вібраційного екстракційного апарату безперервної дії. *Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету*. Серія: Технічні науки. Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2008. № 87. С.332—341.
3. Белобородов В. В. Проблемы экстрагирования в пищевой промышленности. *Известия вузов. Пищевая технология*. 1986. № 3. С. 6—11.
4. Белоглазов И. Н. Твердофазные экстракторы: инженерные методы расчета. Л. : Химия, 1985. С. 42—49.
5. Вибрационные массообменные аппараты. / И. Я. Городецкий и др.; под ред. В. М. Олевского. М.: Химия, 1980. 192 с.
6. Горлов М. Д. Разработка и исследование вибрационного массообменного аппарата для экстрагирования плодово-ягодного сырья: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2005. 157 с.
7. Зав'ялов В. Л., Лобода П. П. Исследование гидродинамики пульсирующих струй в виброэкстракторах. Обработка жидких сред электромагнитными полями. Тепло-массообмен и гидродинамика в турбулентных течениях: тез. докл. на Межгосударственной конференции. Алушта, 1992. С. 52.
8. Ковалева Т. М., Гладух Е. В., Половко Н. П. Дослідження деяких умов екстрагування БАВ при отриманні густого екстракту горіха волоського. *Фармаком* 1. 2002. С. 58—61.
9. Зав'ялов В. Л., Деканський В. Є., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., Запорожець Ю. В., Бодров В. С. Систематизація класифікаційних ознак екстракторів для системи тверде тіло — рідина. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»*. Вінниця, 2012. № 4(68). С. 109—111.
10. Hugh M. A., Krukonis R. J. *Supercritical Fluid Extraction: Principles and Practice*. 2nd ed. Boston, 1994. 512 p.
11. Вібраційний екстрактор: пат. 32703 Україна. МПК В04С 5/00 № u2008 00668; заявл. 21.01.08; опубл. 26.05.2008; Бюл. № 10. 4с.
12. Малышев Р. М. и др. Процессы пульсационной экстракции из растительного сырья. *Теор. основы хим. технологии*. 2001. № 1. Т. 35. С. 57—60.
13. Вібраційний екстрактор: пат. 92560 Україна. № 2004042416; МПК В 01 D 11/02. № а 2009 06928; заявл. 02.07.09; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20.

TRANSITION PROCESSES IN FERMENTATION  
TECHNOLOGIES

**A. Sokolenko, O. Shevchenko, S. Litvynchuk**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Transients  
Fermentation technologies  
Anaerobic digestion  
Energy-related transformations  
Gas-holding capacity*

---

**Article history:**

Received 23.0.2019  
Received in revised form  
09.10.2019  
Accepted 21.10.2019

---

**Corresponding author:**

O. Shevchenko  
**E-mail:**  
tmipt@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The materials of the article are concerned with the analysis of the set of transients present in the technologies of anaerobic digestion of sugar-containing media, energy-material transformations and the search for relationships between the parameters that characterize the named set.

With the known limiting factor at the final stage of fermentation — the osmotic pressure of solutes - an assessment was made regarding the possibilities of intensification of mass transfer processes based on the use of internal energy factors of gas-liquid media. The main factor of the hydrodynamic state is the gas-holding capacity, the corresponding mathematical formalizations are proposed. On the basis of the laws of Gay-Lussac, Archimedes, Newton's third law, the transition from the estimation of the gas-holding capacity to the estimation of the energy potential of the circulating circuits was first proposed.

The search for the possibility of limiting the osmotic pressure has led to proposals for the use of subcritical fermentation modes due to the balance of quantitative indices of pressure C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH and the simultaneous extraction of it from the fermented medium.

The obtained mathematical dependences imply the possibility of intensive influence on the gas-holding capacity and hydrodynamic modes by variable pressures in gas volumes. The consequence of the latter is the regulated effects on the dissolved gas phase concentration indicator, which is associated with the mass transfer resistance at the interface between the yeast cells and the liquid phase.

## ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В БРОДИЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, С. І. Літвинчук

Національний університет харчових технологій

У статті проведено аналіз сукупності перехідних процесів, характерних для технологій анаеробного збродження цукровмісних середовищ, енерго-матеріальних трансформацій і пошуків взаємозв'язків між параметрами, що характеризують названу сукупність.

За відомого обмежувального фактора на кінцевому етапі бродиння — осмотичного тиску розчинених речовин — виконано оцінку можливостей інтенсифікації масообмінних процесів на основі використання внутрішніх енергетичних факторів газорідних середовищ. Основним чинником гідродинамічного стану визначено газоутримувальну здатність, запропоновано відповідні математичні формалізації. На основі законів Гей-Люссака, Архімеда, третього закону Ньютона вперше запропоновано перехід від оцінки газоутримувальної здатності до оцінки енергетичного потенціалу циркуляційних контурів.

Пошуки можливостей обмеження осмотичних тисків підтвердили доцільність використання докритичних режимів бродиння за рахунок балансів кількісних показників тиску  $C_2H_5OH$  і синхронного вилучення його зі збродженого середовища.

Одержані математичні залежності підтвердили можливість інтенсивного впливу на газоутримувальну здатність і гідродинамічні режими змінними тисками в газових об'ємах. Наслідком останніх є регульовані впливи на показник концентрації розчиненої газової фази, з якою пов'язують опір масопередачі на межі поділу поверхонь контактування дріжджових клітин з рідинною фазою.

**Ключові слова:** *перехідні процеси, бродильні технології, анаеробне збродження, енергоматеріальні трансформації, газоутримувальна здатність.*

**Постановка проблеми.** Перебіг будь-якого процесу потребує енергетичного підґрунтя у формі хімічних, теплових, електричних, механічних потенціалів, рівень яких визначається відповідними параметрами. Останні поділяються на рушійні та параметри опору і зміни хоча б одного з них вказують на можливість реалізації перехідного процесу, результатом якого є зміна концентрацій речовин за рахунок хімічних реакцій, біохімічних, механічних або термодинамічних взаємодій в енергетичних потенціалах, досягнення фазових переходів тощо. Важливо, що з точки зору оцінки наявності перехідних процесів у більшості випадків можливо прийти до бачення кількох їх рівнів. Так, наприклад, анаеробне збродження цукровмісних середовищ у загальній оцінці має відповідати поняттю перехідний процес хоча б за початковими і кінцевими результатами його перебігу. Водночас у його структурі відбуваються енергетичні трансформації, деструкція вхідного енергоматеріального потоку цукрів і синтез спирту та діоксиду вуглецю в ендогенних процесах [1—3], зміни осмотичних тисків і концентрацій розчиненого  $CO_2$  утворення диспергової газової фази, конвективне перемішування в самопливних

процесах за примусового охолодження тощо. Наведений перелік процесів, навіть з програмованими трансформаціями [4; 5], вказує на відносну складність забезпечення оптимальних або хоча б раціональних їх перебігів.

Стратегічне завдання ендогенного синтезу спирту потребує забезпечення живлення і номінальних термодинамічних параметрів і це за наявності внутрішнього протиріччя в основній задачі, оскільки синтез  $C_2H_5OH$  означає зростання осмотичних тисків до рівнів, які оцінюються критичними. Ця основна перепона означає, що подальший напрямок удосконалення технологій анаеробного зброджування цукровмісних середовищ має стосуватися докритичних по осмотичних тисках режимів, які мають бути стабілізованими в динамічному плані. Така стабілізація досягається рівноважним з синтезом виведенням з культурального середовища спирту, наприклад, за рахунок суміщення процесів бродіння і перегонки.

Реалізація названого суміщення потребує забезпечення тисків у системах, за яких їх значення відповідатимуть температурам фазових переходів не вище  $32^{\circ}C$ . Однак забезпечення умов міцності бродильних апаратів при тисках  $0,004...0,005$  МПа за геометричних параметрів у кілька десятків  $m^3$  є складним і економічно недоцільним. Проте вихід із такої ситуації стосується створення локальних об'ємів зі зниженими до названих параметрів тисків [6—8]. Важливо, що за таких умов енергетичне забезпечення фазового переходу забезпечується за рахунок теплоти бродіння.

Наявність диспергованої фази  $CO_2$ , об'єму газової фази в надрідинному просторі і досвід використання спиртовловлювачів вказують на можливість детермінованої організації видалення спирту з газовою фазою за використання посиленних циркуляційних контурів [9; 10]. Важливо також, що останні потужно доповнюють гідродинамічні режими середовищ за рахунок таких показників, як приведені швидкості газової фази, швидкості спливання диспергованої газової фази і газоутримувальна здатність.

**Мета дослідження:** розробка математичних формалізацій відображення перебігів перехідних процесів для одержання оцінок впливів фізичних параметрів середовищ і геометричних параметрів бродильних апаратів.

**Матеріали і методи.** Використано феноменологічні узагальнення відомих принципів і законів для відображення перехідних процесів з відповідними енергоматеріальними трансформаціями на основі взаємозв'язків між геометричними, гідродинамічними і термодинамічними параметрами середовищ.

**Результати дослідження.** Оскільки важливим фактором впливу названо величину приведеної швидкості газової фази, яка визначається відношенням об'ємного потоку  $CO_2$  до площі поперечного перерізу бродильного апарата, то це означає, що впливовим фактором додатково мають визначатися його геометричні параметри:

$$w_{np} = \frac{V_{CO_2}}{F_{ap}} = \frac{4V_{CO_2}}{\pi d_{ap}^2}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

де  $V_{CO_2}$  — об'ємний потік газової фази, задіяний у циркуляційному контурі,  $m^3/c$ ;  $F_{ap} \cos^{-1}(\theta)$  і  $d_{ap}$  — відповідно, площа поперечного перерізу ( $m^2$ ) і діаметр апарата (м).

Важливість геометричних параметрів бродильних апаратів можливо відслідкувати на історії створення їх у пивоварній галузі, яка відображена в сучасних циліндро-конічних танках (ЦКТ) зі значними діапазонами об'ємів і співвідношень розмірів діаметрів (від 3 до 5 м) до висот (від 10 до 40 м).

Абсолютні розміри апаратів та їх кількість визначаються на основі проєктованої виробничої потужності, динаміки в організації процесів і термодинамічних параметрів їх здійснення. Одночасно з цим мають бути враховані співвідношення діаметрів і висот їх циліндричних і конічних частин, оскільки від них залежить рівень наближення до вимоги мінімізації витрат матеріалів на їх створення. З точки зору інтересів стабілізації температурних режимів вагоме значення має питома поверхня охолодження, яка визначається відношенням відповідної поверхні до об'єму середовища. При цьому очевидно, що два з числа останніх параметри знаходяться в протиріччі. Внутрішня неузгодженість притаманна і задачі вибору об'єму бродильного апарата, оскільки він визначається кубом лінійних параметрів, а поверхня охолодження — їх квадратом.

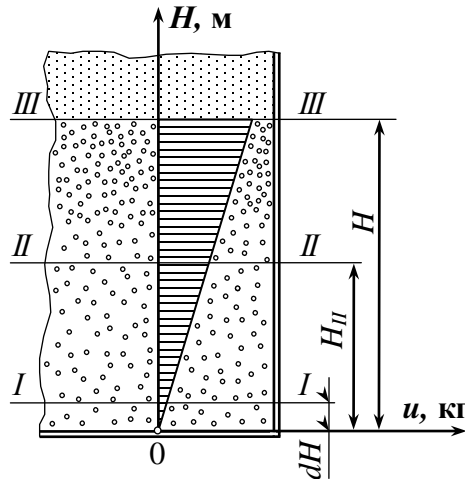


Рис. Схема визначення розподілу газової фази в середовищі циліндричного апарата

Важливість вибору геометричних параметрів бродильних апаратів значно підсилюється їх впливом на гідродинаміку газорідних середовищ. Існування такого впливу підтверджується використанням приведеної швидкості газової фази, що примусово подається в рідинну фазу на фіксованому рівні заглиблення. Така ситуація може оцінюватися як дещо спрощена порівняно з випадками анаеробного бродіння, в яких синтез диспергованої фази  $\text{CO}_2$  відбувається у всьому об'ємі. Це означає, що газотримувальна здатність  $u$  буде змінною по висоті і зростаючою по координаті  $H$  (див. рис.).

Математичні формалізації для випадку циліндричного апарата відобразимо в припущенні, що на фіксованому проміжку часу  $t$  швидкість синтезу  $m_{\text{CO}_2}/dt$  є величиною, сталою у всьому об'ємі середовища. Тоді в елемен-

тарному об'ємі  $dV$ , що відповідає елементарній висоті  $dH$ , синтезується газовий потік у кількості:

$$dM_{\text{CO}_2} = \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} F_{\text{ан}} dH, \text{ кг/с.} \quad (2)$$

Інтегрування в заданих межах приводить до значень:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{II}} = \int_0^{H_{\text{II}}} \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} F_{\text{ан}} dH = \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} F_{\text{ан}} H_{\text{II}}, \text{ кг/с} \quad (3)$$

і для перерізу III-III отримаємо:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{III}} = \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} F_{\text{ан}} H, \text{ кг/с.} \quad (4)$$

Лінійний характер залежності  $M_{\text{CO}_2} = M_{\text{CO}_2}(H)$  вказує на можливість визначити залежність щодо газотримувальної здатності. При цьому приймемо припущення, що час перебування кожної бульбашки в середовищі складає:

$$t_{(\text{пл})} = \frac{H - H_{(\text{пл})}}{w}, \text{ с,} \quad (5)$$

де  $H_{(\text{пл})}$  — плинна координата газової бульбашки, м;  $w$  — швидкість спливання бульбашок диспергованої газової фази, м/с.

Для масиву бульбашок, обмеженого значенням  $H_{(\text{пл})}$ , середній плинний час спливання визначається формулою:

$$t_{(\text{пл})} = \frac{H - H_{(\text{пл})}/2}{w} \sqrt{2}, \text{ с.} \quad (6)$$

Тоді для кожного плинного перерізу отримуємо:

$$u_{(\text{пл})} = \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} F_{\text{ан}} H_{(\text{пл})} t_{(\text{пл})} = \frac{\frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} F_{\text{ан}} H_{(\text{пл})} \left( H - \frac{H_{(\text{пл})}}{2} \right)}{w}, \text{ кг.} \quad (7)$$

У наведеній методиці розрахунків газотримувальна здатність з розмірністю кг стосується всього об'єму рідинної фракції. Перехід до значень об'ємів диспергованої газової фракції здійснимо на основі рівняння універсального стану Менделєєва-Клапейрона:

$$PV_{(\text{пл})} = u_{(\text{пл})} RT, \text{ Дж,} \quad (8)$$

де  $P$  — середнє значення тиску в системі, Па;  $V_{(\text{пл})}$  — плинний об'єм газової фракції в середовищі, м<sup>3</sup>;  $R$  — універсальна газова стала, Дж/(кг·К);  $T$  — абсолютна температура газової фракції, К.

Звідси плинний об'єм газової фракції становить:

$$V_{(\text{пл})} = \frac{\frac{F_{\text{ан}} H_{(\text{пл})}}{P} \cdot \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} \left( H - \frac{H_{(\text{пл})}}{2} \right)}{w'}, \text{ м}^3. \quad (9)$$

Середнє значення тиску в системі обчислюється з урахуванням складової  $P_0$  зовнішнього для газорідного середовища тиску і гідростатичного тиску:

$$P = P_0 + \frac{\rho g H}{2} T, \text{ Па.} \quad (10)$$

Оскільки  $H_{(пл)} = H$ , то умова (9) трансформується до виду:

$$V = \frac{F_{ан} H^2}{w'} \cdot \frac{dm_{CO_2}}{dt}, \text{ м}^3, \quad (11)$$

а з умови (7) випливає:

$$u = 0,5 F_{ан} H^2 \frac{dm_{CO_2}/dt}{w'}, \text{ кг.} \quad (12)$$

З наведеного приходимо до висновку, що газоутримувальна здатність в обох формах представлення пропорційна квадрату висоти газорідного шару. Важливість збільшення цього фактора впливу покажемо на основі таких міркувань: відомо, що диспергована газова фаза, як і будь-яке інше тіло, в рідинній фазі отримує силову дію відповідно до закону Архімеда, стимулюючи режими спливання. Величина цієї силовій дії визначається рівнем ваги рідинної фази, що витісняється газовою бульбашкою. Окрім того, не існує жодних заперечень стосовно того, що весь масив газової фази відповідно до принципу суперпозиції підлягає такій силовій дії. Очевидно, що архімедову силу слід визнавати рушійною, під дією якої розпочинається перехідний процес від моменту утворення бульбашки. Початку переміщення відповідає сила опору середовища, а завершення перехідного процесу досягається за їх рівності:

$$\rho g V_6 = \xi f \frac{w^2}{2}, \quad (13)$$

де  $\rho$  — питома маса рідинної фракції,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  — прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $V_6 \cos^{-1}(\theta)$  — об'єм бульбашки,  $\text{м}^3$ ;  $\xi$  — коефіцієнт опору середовища, який залежить від властивостей рідинної фракції, форми бульбашки;  $f$  — площа проекції бульбашки, перпендикулярна до напрямку руху,  $\text{м}^2$ ;  $w$  — швидкість спливання бульбашки,  $\text{м/с}$ , в культуральних середовищах близька до значень 0,25...0,27  $\text{м/с}$ .

Виконання умови (13) означає вирівнювання силових дій, що показує доцільність звернення до третього закону Ньютона. Це доводить, що існування диспергової газової фази не тільки призводить до руйнування суцільності рідинної фракції, а і переводить її в напружений стан, проявом якого є утворення циркуляційних контурів з інтегральною силовою дією:

$$S = \rho g V. \quad (14)$$

З урахуванням умови (11) можна записати:

$$S = \rho g \frac{F_{ан} H^2}{w'} \cdot \frac{dm_{CO_2}}{dt}. \quad (15)$$

Співвідношення параметрів, записані умовою (15), відповідають усталеному режиму перебігу процесів. Це означає сталу швидкість синтезу диспергованої газової фракції і стабілізований тиск. Однак абсолютно виразно видно, до яких змін приводить зміна тиску в системі. Очевидно, що найбільш доступним фактором варіювання є тиск  $P_0$  у газовій надрідинній фазі. Його зниження синхронно викликає реакцію системи на збільшення газотримувальної здатності і силової дії  $S$  на підвищення інтенсивності циркуляційних контурів. Проте така термодинамічна реакція системи у формі розширення диспергованої газової фракції не є повним завершенням відгуку системи, оскільки зниження тиску обумовлює зменшення розчинності  $\text{CO}_2$  і призводить до певного рівня десатурації й утворення додаткової газової фази. Однак така ситуація означає вихід за межі усталеного режиму і перехід до нового перехідного процесу, який заслуговує на спеціальне дослідження.

Наведені математичні формалізації стосуються узагальнень у відображенні фізичних явищ в сукупності їх перебігів. Взаємні впливи і трансформації відповідають принципу Ле Шательє і закону найбільш імовірного стану середовищ, що знаходить прояв у використанні трьох понять щодо швидкостей газової фази. Перше з них стосується приведеної швидкості (умова (1)), друге — відносної швидкості спливання диспергованої газової фракції (умова (13)), а у формулах (9), (11), (12) і (15) фігурують значення абсолютної швидкості спливання газової фази. При цьому остання на основі принципу суперпозиції визначається сумою відносної і швидкості рідинної фази в циркуляційних контурах:

$$w' = w + w_{\text{рід}}. \quad (16)$$

Оскільки наявність газової фракції в рідинній супроводжується і оцінюється кількісно рівнем набухання середовища, то це означає можливість визначення абсолютної швидкості  $w'$  з умови (11) і здійснення переходу до визначення швидкості рідинної фази у висхідних частинах циркуляційних контурів. Але замкнутість останніх і наявність у дії закону нерозривності потоків призводять до висновку про те, що швидкості руху рідинної фази у висхідних і опускних об'ємах контурів збігаються. Таке припущення наближає до можливості оцінки енергетичного потенціалу сукупності циркуляційних контурів, а у розрахункових формулах має фігурувати маса рідинної фракції:

$$E = m_{\text{рід}} \frac{w_{\text{рід}}^2}{2} = m_{\text{рід}} \frac{(w' - w)^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (17)$$

Значення потужності циркуляційних контурів визначається добутком інтегральної силової дії на швидкість точок її прикладання у формі:

$$N = \rho g \frac{F_{\text{ан}} H^2 (w' - w)}{2Pw'} \cdot \frac{dm_{\text{CO}_2}}{dt} \sin^{-1}(\theta), \text{ Вт.} \quad (18)$$

Наведені розрахункові залежності дають можливість оцінки впливу висоти рідинної і газорідинної фракцій на інтенсивність перебігу процесів як у плинних значеннях, так і в кінцевому варіанті відповідно до гідродинамічних і енергетичних параметрів анаеробного самопливного синтезу газової фракції на основі інших геометричних і термодинамічних параметрів.

## Висновки

Сукупність процесів у технологіях анаеробного зброджування цукровмісних середовищ у зв'язку зі змінними параметрами їх перебігу мають ознаки перехідних і таких, які відбуваються в режимах певних послідовностей і супроводжуються трансформаціями матеріальних та енергетичних потоків. Визначальним чинником таких змін є швидкість зброджування цукрів, яка, визначаючи динаміку змін матеріальних і термодинамічних параметрів, у зворотному зв'язку залежить в узагальненій формі від гідродинамічного стану.

Газоутримувальна здатність середовища, у свою чергу, залежить від геометричних параметрів, оскільки вони визначають значення приведеної газової фази, яка в умовах анаеробних умов бродиння має яскраво виражену висотну нерівномірність у зв'язку з генеруванням CO<sub>2</sub> у всьому об'ємі. Одержані аналітичні залежності стосуються кількостей генерованого діоксиду вуглецю з вказівкою на вплив геометрії бродильних апаратів. Запропоновано фізичне обґрунтування визначення енергетичних потенціалів газорідних середовищ у сполученні закону Архімеда і третього закону Ньютона, доведено можливість впливів на газоутримувальну здатність і гідродинамічні режими змінами тисків у газових надрідних об'ємах бродильних апаратів.

## Література

1. Sokolenko A., Shevchenko O., Vasykivskyi K., Stepanets O., Maksymenko I., Shevchenko A. (2018), *Intensification of energy and mass exchange processes in fermentation technologies: monograph*, Ruse University «Angel Kanchev», Ruse.
2. Шиян П. Л., Сосницький В. В., Олійничук С. Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика. К.: Асканія, 2009. 424 с.
3. Sokolenko A., Shevchenko O., Maksymenko I., Vinnichenko I., Kostyuk V. (2017), Osmotic pressure in the fermentation media technologies, *Ukrainian Food Journal*, Vol. 6, Is. 1, P. 134—140.
4. Кунце В. Технология солода и пива; пер. с нем. С.-Пб.: Профессия, 2001. 912 с.
5. Технологія спирту: підруч. / В. О. Маринченко, В. А. Домарецький, П. Л. Шиян та ін.; під ред. проф. В. О. Маринченка. Вінниця: «Поділля-2000», 2003. 496 с.
6. Патент 103440 UA, МПК C12G 3/10 (2006.01), B01D 3/10 (2006.01), C12C 7/22 (2006.01) Система зброджування сусла у виробництві етанолу / Соколенко А. І., Піддубний В. А., Максименко І. Ф.; заявник Національний університет харчових технологій. — № а201212910; заявл. 13.11.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19, 2013 р.
7. Патент 107407 UA, МПК C12F 3/08 (2006.01) Бродильний апарат / Чагайда А. О., Піддубний В. А., Соколенко А. І., Пімінова Г. А.; заявник Національний університет харчових технологій. — № а201305631; заявл. 30.04.2013; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24, 2014 р.
8. Патент 124159 UA, МПК C12G 3/10 (2006.01), C12P 7/06 (2006.01) Система зброджування сусла у виробництві етанолу / Шевченко О. Ю., Соколенко А. І., Степанець О. І., Максименко І. Ф.; заявник Національний університет харчових технологій. — № u201709860; заявл. 11.10.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6, 2018 р.
9. Інтенсифікація енерго- масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних і мікробіологічних виробництв: монографія / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Васильківський К. В. та ін. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018, 212 с.
10. Патент 104401 UA, МПК C12F 3/08 (2006.01), C12M 1/00 (2014.01) Бродильний апарат / Криворотько В. М., Соколенко А. І., Максименко І. Ф., Бойко О. О.; заявник Національний університет харчових технологій. — № а201305632; заявл. 30.04.2013; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2, 2014 р.

RESEARCH OF QUALITY INDICATORS OF DISHES AND CULINARY PRODUCTS WITH USE OF SEMI-FINISHED PRODUCT OF FRESHWATER MUSSEL AND THEIR CHANGES DURING STORAGE

**N. Golovko, T. Golovko**

*Kharkov State University of Food Technology and Trade*

**A. Gelikh**

*Sumy National Agrarian University*

**V. Prymenko**

*Dnipro Faculty of Management and Business of Kyiv Culture*

---

**Key words:**

*Semi-finished product of freshwater mussel  
Shelf life  
Julian “River pearl”  
Salad with freshwater mussel  
Cream-soup with freshwater mussel  
Rolls “Anodonta”*

---

**Article history:**

Received 13.09.2019

Received in revised form 24.09.2019

Accepted 16.10.2019

---

**Corresponding author:**

N. Golovko

**E-mail:**

golovko.pal@gmail.com

**ABSTRACT**

---

The paper shows investigated factors that influence on quality and storage time of dishes and culinary products that contain semi-finished freshwater mussel. The nutritional value and mineral composition of the developed products have been determined. There has been analysed their chemical composition, namely the change of protein content, fat, moisture content during storage. There has been studied organoleptic properties of the dishes and culinary products based on semi-finished products during storage. Tasting evaluation of the julian “River pearl”, salad with freshwater mussel, cream-soup with freshwater mussel, rolls “Anodonta”, revealed that they have smell and taste characteristics of this type of culinary production throughout the shelf life.

The dynamics of the microbiological state and the content of toxic elements of dishes and culinary products have been investigated and described. Based on the obtained data, the quality indicators of julian “River pearl”, salad with freshwater mussel, cream-soup with freshwater mussel, Rolls “Anodonta” have been substantiated. Toxicological studies have shown that the safety indicators of developed culinary products based on semi-finished freshwater mussel meet the toxicological requirements for this type of product. In order to check the level of safety, the developed dishes and culinary products based on semi-finished freshwater mussel product were tested for microbiological purity immediately after manufacture and during storage. Based on the experimental data, we can conclude that microbiological changes in the developed dishes and culinary products were not detected. Obtained data evidence that the optimal shelf life of dishes and culinary products based on semi-finished freshwater mussel product is 6 hours at temperatures from 2—4°C.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-12

---

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СТРАВ І КУЛІНАРНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ НАПІВФАБРИКАТУ З МОЛЮСКА ПРІСНОВОДНОГО ТА ЇХ ЗМІН ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ**

**М. П. Головка, Т. М. Головка**

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

**А. О. Геліх**

*Сумський національний аграрний університет*

**В. Г. Применко**

*ВП «Дніпровський факультет менеджменту і бізнесу*

*Київського університету культури»*

*У статті досліджено чинники, що впливають на якість та час зберігання страв і кулінарних виробів, які містять у своєму складі напівфабрикат з моллюска прісноводного. Визначено харчову цінність і мінеральний склад розробленої продукції. Здійснено аналіз хімічного складу, зокрема аналіз зміни вмісту білка, жиру вологи під час зберігання. Проведено дослідження органолептичних властивостей страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату у процесі зберігання. Дегустаційна оцінка жульєну «Річкова перлина», салату теплового з моллюсками прісноводними, крем-супу з моллюсками прісноводними та ролів «Anodonta» виявила, що протягом усього терміну зберігання вони мають запах і смак, властивий цьому виду кулінарної продукції.*

*Досліджено та описано динаміку мікробіологічного стану та вміст токсичних елементів страв і кулінарних виробів. На основі отриманих даних обґрунтовано показники якості жульєну «Річкова перлина», салату теплового з моллюсками прісноводними, крем-супу з моллюсками прісноводними та ролів «Anodonta». Для перевірки рівня безпечності розроблені страви та кулінарні вироби на основі напівфабрикату з моллюска прісноводного досліджено на мікробіологічну чистоту одразу після виготовлення та під час зберігання. Токсикологічні дослідження довели, що за показниками безпечності розроблена кулінарна продукція на основі напівфабрикату з моллюска прісноводного відповідає токсикологічним вимогам, що висуваються до цього виду продукції. На підставі експериментальних даних можна зробити висновок, що мікробіологічних змін у розроблених стравах і кулінарних виробих не виявлено. На основі отриманих даних обґрунтовано та запропоновано оптимальні терміни зберігання страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з моллюска прісноводного, що становить 6 год за температури від 2—4°C.*

**Ключові слова:** *напівфабрикат з моллюска прісноводного, термін зберігання, жульєн «Річкова перлина», салат теплий з моллюска прісноводного, крем-суп з моллюсками, ролі «Anodonta».*

**Постановка проблеми.** *Розроблені страви та кулінарні вироби за видом напівфабрикату, що використовується в їхніх рецептурах, належать до прин-*

ципово нової харчової продукції, що вперше представлена на ринку України і не має аналогів. Під час обґрунтування технології продукції ресторанного господарства з використанням розробленого напівфабрикату враховувались особливості його структури, хімічного складу, а також основні принципи традиційної технології продукції ресторанного господарства та національної кухні. Сучасні вимоги до асортименту, смакових характеристик кулінарної продукції, виникнення нових напрямків у кулінарії припускають більш широкий спектр страв із гідробіонтів. Реалізація ідеї комплексного дослідження нових кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюсків прісноводних є виправданою і доводить доцільність використання напівфабрикату в їх складі як джерела повноцінного білка, ПНЖК, мікро- та макроелементів. Проте обов'язковим є створення системи заходів контролю безпеки технології. Водночас готова продукція (закуси, салати, перші та другі страви на основі напівфабрикату з молюска прісноводного) мають підлягати обов'язковому контролю згідно з вимогами, висунутими до страв і кулінарних виробів на основі гідробіонтів. На підставі цього необхідно контролювати такі показники: органолептичні (зовнішній вигляд, колір, смак, запах, консистенція); фізико-хімічні (вміст білка, жиру, вуглеводів та енергетична цінність); мікробіологічні (кількість МАФАМ, наявність БГКП, патогенних мікроорганізмів, пліснявих грибів, дріжджів); токсикологічні (вміст свинцю, миш'яку, кадмію, ртуті, міді, цинку).

Сучасність та актуальність дослідження полягає в тому, що науково обґрунтовані технології страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюска прісноводного, одержані експериментальним шляхом, є перспективним напрямом для вирішення проблеми дефіциту білка та задоволення потреби споживачів України у якісних продуктах харчування з високими споживними властивостями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Потреба у гідробіонтах в Україні постійно зростає, тому необхідно виявляти нові джерела сировини, розробляти та застосовувати нові ефективні способи їх переробки з метою отримання різноманітних кулінарних виробів високої якості [1]. Так, амінокислотний склад білків визначено у [2], жирно-кислотний склад ліпідів у [3], мінеральний склад у [4]. Розроблено технологію та досконально вивчено всі стадії технологічного процесу напівфабрикату з молюска прісноводного. Одним із перспективних напрямків переробки нерибної сировини є дослідження і використання прісноводних двостулкових молюсків як аналогів морських (мідій) з подальшим одержанням на їх основі широкого асортименту продукції. Перевагами такої продукції є:

- вирішення проблеми білка у глобальному плані;
- раціональне використання нерибної сировини прісноводних ресурсів, оскільки її використання дає можливість максимально задовольнити попит населення у віддалених від моря територій [5];
- можливість максимально ергономічного виробництва з подальшим використанням непридатних у функціонально-технологічному відношенні частин для галузей легкої промисловості (стулки) та у сфері тваринництва [6];

– використання напівфабрикату з молюска прісноводного (*mussels Perna perna*) як самостійного продукту харчування та у складі кулінарної продукції за показниками фізико-хімічних, харчових і споживчих властивостей [7];

– оцінка гістопатологічного моніторингу мідій *Perna perna* та *Itaipu Lagoon* [8];

– вплив термічної та різних видів попередньої обробки (посол, маринування) на кінцеві характеристики м'яса мідій, зокрема на вихід готового продукту й терміни зберігання [9].

Проведено комплексне дослідження кулінарної продукції на основі розробленого напівфабрикату для підтвердження можливості використання його у харчуванні людини та встановлення терміну зберігання.

**Метою статті** є дослідження динаміки змін вмісту білка та вологи, органолептичних і мікробіологічних змін у процесі зберігання страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюска прісноводного, обґрунтування термінів його зберігання.

**Викладення основних результатів дослідження.** Розробка технології страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюска прісноводного здійснювалися на підставі проведених досліджень, що лягли в основу розробки технологічних схем виробництва страв і кулінарних виробів на основі цього виду сировинної основи. Розроблено технологію виробництва страв і кулінарних виробів з напівфабрикату з молюска прісноводного: технологію виготовлення жульєну «Річкова перлина», салату теплого з молюсками прісноводними, крем-супу з молюсками прісноводними, ролів «Anodonta». Органолептичні показники страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюска прісноводного визначали методом профільного аналізу зовнішнього вигляду, консистенції, кольору, запаху та смаку. Отримані дані за результатами оцінки експертно-дегустаційної наради Харківського державного університету харчування та торгівлі (протокол № 13 від 14 червня 2018 року) лягли в основу сенсорної оцінки продукту.

У ході аналізу даних дегустації встановлено, що розроблені жульєн з прісноводними молюсками «Річкова перлина», салат теплий з молюска прісноводного, ролі «Anodonta» та крем-суп з молюсками прісноводними мають високі органолептичні показники, що доводить їхню споживчу спроможність, прогнозує високий рівень попиту на цей вид продукції та визначає як конкурентоспроможну на ринку аналогічних продуктів. Розроблені страви є багатокomпонентними гетерогенними системами, в яких одночасно відбуваються мікробіологічні, біохімічні та фізико-хімічні процеси. Тому правильне визначення терміну зберігання залежить від потенційної можливості виявлення критично важливих характеристик якості страв, що визначають межі його прийнятності для споживача та розуміння погіршення якості страв і кулінарних виробів з використанням напівфабрикату з молюска прісноводного.

З метою дослідження харчової цінності визначалися хімічний і мінеральний склад готової продукції. Також були встановлені зміни під час зберігання готових страв і кулінарних виробів. Результати дослідження хімічного складу та його зміни в процесі зберігання наведено в табл. 1.

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

**Таблиця 1. Хімічний склад страв і кулінарних виробів з використанням напівфабрикату з молюска прісноводного у процесі зберігання**

Назва страви	Термін зберігання, год	Хімічні показники				
		Білки, %	Жири, %	Вуглеводи, %	Мінеральні речовини, %	Волога, %
1	2	3	4	5	6	7
Жульєн з прісноводними молюсками «Річкова перлина»	Свіжовиг.	9,1	8,2	6,4	2,4	65
	6	9,1	8,2	6,4	2,4	62
Теплий салат із прісноводних молюсків	Свіжовиг.	8,5	2,1	16,1	2,7	78
	6	8,5	2,01	16,1	2,7	75
Крем-суп з молюсками	Свіжовиг.	8,6	9,1	17,5	1,6	96
	6	8,6	9,1	17,5	1,6	91
Роли «Anodonta»	Свіжовиг.	10,7	6,9	22,3	2,9	67
	6	10,7	6,9	22,3	2,9	65

Як видно з табл. 1, протягом зазначеного терміну зберігання не відбувається суттєвих змін хімічного складу розроблених страв і кулінарних виробів, що забезпечує їх реалізацію в закладах ресторанного господарства протягом указанного терміну. Визначено, що через 6 год зберігання масова частки вологи напівфабрикатів зменшилася в середньому на 3%. Цей показник є середньостатистичним, якщо порівняти з кулінарними виробами, виготовленими на основі морських молюсків. Загалом, кількість білка, жиру та вуглеводів не змінювалась під час зберігання.

Також досліджувався мінеральний склад розроблених страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюска прісноводного з розрахунку на порцію (табл. 2).

**Таблиця 2. Мінеральний склад страв і кулінарних виробів з використанням напівфабрикату з молюска прісноводного**

Найменування мінеральних речовин	Назва страви			
	Жульєн з прісноводними молюсками «Річкова перлина»	Теплий салат із прісноводних молюсків	Крем-суп з молюсками	Роли «Anodonta»
Кальцій, мг/100г	292,7	302,3	315,9	295,6
Фосфор, мг/100г	391,7	401,0	421,2	434,1
Магній, мг/100г	220,4	190,6	199,1	255,1
Мідь, мкг/100г	41,6	37,0	37,9	42,1
Марганець, мг/100г	5,2	6,4	5,7	6,7
Цинк, мг/100г	0,9	0,73	0,79	0,68
Залізо, мг/100г	11,6	5,0	4,1	7,1
Селен, мкг/100г	11,0	11,7	11,4	11,2
Йод, мкг/100г	65,0	64,0	47,0	97,0

З огляду на несприятливу екологічну ситуацію заслуговують на увагу показники безпеки в розроблених стравах і кулінарних виробів (табл. 3).

**Таблиця 3. Вміст токсичних елементів страв і кулінарних виробів з використанням напівфабрикату з молюска прісноводного**

Найменування страви	Найменування показників					
	Свинець	Миш'як	Кадмій	Ртуть	Мідь	Цинк
	Допустимі рівні, мг/кг, не більше					
	0,50	0,20	0,10	0,01	10,00	50,00
	Фактичний вміст, мг/кг					
Жульєн з прісноводними молюсками «Річкова перлина», %	0,05	0,04	не виявлено	не виявлено	0,24	1,52
Салат теплий з молюска прісноводного, %	0,05	0,04	не виявлено	не виявлено	0,24	1,52
Роли «Anodonta», %	0,05	0,04	не виявлено	не виявлено	0,24	1,52
Крем-суп з молюсками прісноводними, %	0,05	0,04	не виявлено	не виявлено	0,24	1,52

Токсикологічні дослідження довели, що за показниками безпечності розроблені жульєн з прісноводними молюсками «Річкова перлина», салат теплий з молюска прісноводного, роли «Anodonta» та крем-суп з молюсками прісноводними відповідають токсикологічним вимогам, що висуваються до цього виду продукції. Для перевірки рівня безпечності розроблені страви та кулінарні вироби на основі напівфабрикату з молюска прісноводного досліджувалися на мікробіологічну чистоту одразу після виготовлення та під час зберігання (табл. 4).

На підставі експериментальних даних можна зробити висновок, що оскільки мікробіологічних змін у розробленій продукції не виявлено, то її реалізація протягом зазначеного терміну у закладах ресторанного господарства дозволена. За результатами табл. 4 можна зробити висновок щодо безпечності розроблених страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату з молюска прісноводного.

Як видно з представлених даних, протягом указанного терміну зберігання не відбувається суттєвих змін хімічного складу розроблених страв та їхніх мікробіологічних показників, що дозволяє їх реалізацію в закладах ресторанного господарства протягом указанного терміну. Згідно із СанПіН для гарячих закусок, супів і других страв у закладах ресторанного господарства передбачено термін зберігання 6 год за температури 2—4°C.

**Таблиця 4. Мікробіологічні показники страв і кулінарних виробів з використанням напівфабрикату з моллюска прісноводного під час зберігання**

Найменування страви		Найменування показників			
		Кількість МАФАМ, УО в 1 г, не більше	БГКП коліформи, в 0,1 г	Патогенні мікроорганізми, у т. ч. бактерії роду <i>Salmonella</i> , в 25 г	Плісєневі гриби та дріжджі, КУО в 1 г, не більше
		5·10 <sup>4</sup>	не допускається	не допускається	1·10 <sup>2</sup>
		Фактичне значення			
Жульєн з прісноводними моллюсками «Річкова перлина», %	Свіжо виготовлений	до 10	не виявлено	не виявлено	не виявлено
	12 год	без змін	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Салат теплий з моллюска прісноводного, %	Свіжо виготовлений	до 10	не виявлено	не виявлено	не виявлено
	12 год	без змін	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Ролі «Anodonta», %	Свіжо виготовлений	до 10	не виявлено	не виявлено	не виявлено
	12 год	без змін	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Крем-суп з моллюсками прісноводними, %	Свіжо виготовлений	до 10	не виявлено	не виявлено	не виявлено
	12 год	без змін	не виявлено	не виявлено	не виявлено

### **Висновки**

1. Визначено динаміку змін вмісту білка, жиру, вологи та мінеральних речовин у стравах і кулінарних виробках на основі напівфабрикату варено-замороженого під час різних проміжків часу в процесі зберігання та наочно представлено отримані дані. З'ясовано, що через 6 год зберігання масова частка вологи напівфабрикатів зменшилася в середньому на 3%. Цей показник є середньостатистичним, якщо порівняти з кулінарними виробами, виготовленими на основі морських моллюсків. Загалом, кількість білка, жиру та вуглеводів не змінювалась під час зберігання.

2. Досліджено органолептичні, мікробіологічні й токсикологічні показники та динаміку їх зміни у процесі зберігання страв і кулінарних виробів на основі напівфабрикату варено-замороженого. Дегустаційна оцінка жульєну «Річкова перлина», салату теплого з моллюсками прісноводними, крем-супу з моллюсками прісноводними та ролів «Anodonta» виявила, що протягом усього терміну зберігання вони мають запах і смак, властивий цьому виду кулінарної продукції.

3. На основі отриманих даних обґрунтовано показники якості і терміни зберігання жульєну «Річкова перлина», салату теплого з моллюсками прісноводними, крем-супу з моллюсками прісноводними та ролів «Anodonta». На

підставі експериментальних даних можна зробити висновок, що мікробіологічних змін у розроблених стравах і кулінарних виробках не виявлено. Доведено, що термін зберігання розробленої кулінарної продукції на основі напівфабрикату з моллюска прісноводного становить 6 год за температури 2—4°C.

### **Література**

1. Merlina N. Andalecio Consumers' behavior towards cultured oyster and mussel in Western Visayas, Philippines [Text] / Merlina N. Andalecio, Ernestina M. Peralta, Ruby P. Napata, Liberato V. Laureta. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. 2014. 7(2). P. 116—136. Access mode: <https://doaj.org/article/0c22a20963b849dab260b12b32fe091c>.
2. Golovko N., Golovko T., Gelikh A. Investigation amino-acid structure of proteins bivalve freshwater Mussels from the family Anodonta of the northern Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 5/11 (77). P. 10—16.
3. Golovko N., Golovko T., Gelikh A. Investigation fatty acid and mineral of soft body bivalve freshwater mussels from the family Anodonta of the northern Ukraine. *Technological Audit and Production Reserves*. 2016. № 3/3 (29). P. 17—23.
4. Golovko N., Golovko T., Gelikh A. Research qualitative composition of minerals soft body freshwater bivalve mussels of the genus Anodonta and marine counterpart — the mussels of the genus Mytilus. *Progressive engineering and technology of food production enterprises, catering business and trade*. 2015. № 2 (22). P. 270—278.
5. Nives Marušić GROWTH OF MUSSELS (*Mytilus galloprovincialis*) ON THE EAST COAST OF ISTRIA [Text] / Nives Marušić, Sanja Vidaček, Helga Medić, Tomislav Petrak. *Croatian Journal of Fisheries*. 2010; 68(1):19—25. Access mode: <https://doaj.org/article/1c0507ec8da6484d8ee80fd00ce4cf89>.
6. Érika Fabiane Furlan Physicochemical stability and market of mussels (*Perna perna*) cultivated in Ubatuba — SP, Brasil [Text] / Érika Fabiane Furlan, Juliana Antunes Galvão, Eduardo Oliveira Salán, Viviane Angeli Yokoyama, Marília Oetterer. *Food Science and Technology*. 2007; 27(3):516-523. Access mode: <https://doaj.org/article/3df4a621844642b1b243caf6853603ad>.
7. Lima F. C. Histopathological monitoring assessment of mussels *Perna perna* at the Itaipu Lagoon, Brazil [Text] / F.C. Lima, M.G. Abreu, E.F.M. Mesquita. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2001; 53(2):1—5. Access mode: <https://doaj.org/article/40c1d861d213406493b604b6ce2ac6ab>.
8. Giustino Tribuzi Processing of chopped mussel meat in retort pouch [Text] / Giustino Tribuzi, Gláucia Maria Falcão de Aragao, João Borges Laurindo. *Food Science and Technology*. 2015; (0):0—0 Access mode: <https://doaj.org/article/dda612fcc5db4492b8210828bd19a72a>.
9. Богданов В. Д., Волотка Ф. Б. Технохимическая характеристика дальневосточной красноперки и кефали-лобана. *Известия ТИПРО*. 2012. Т. 170. С. 271—283.

USING OF GELS MADE FROM UNTRADITIONAL MATERIALS TO PRODUCE MEAT SEMI-FINISHED PRODUCTS

**V. Grechko, I. Strashynskiy, V. Pasichnyi**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Chia seeds  
Flax seeds  
Degree of swelling  
Technology  
Meat semi-finished  
products  
Meat chopped semi-  
finished products*

---

**Article history:**

Received 03.09.2019  
Received in revised form  
19.09.2019  
Accepted 03.10.2019

---

**Corresponding author:**

V. Pasichnyi  
**E-mail:**  
Pasww1@ukr.net

---

**ABSTRACT**

In the meat industry because of unsteady functional & technological qualities of meat materials, which come to the production, it is impossible not to use setting agents, stabilizers & emulgators. One of the ways how to solve this problem is to find natural structure-forming additives made from untraditional plant recourses. One of these ingredients can be chia seeds which have the capability to make gel & to keep the moisture of the mass that is 27 times bigger than the gel mass. After the studying of the literature sources we can assert that the using of chia seeds gel hasn't been learnt enough & it gives us the opportunity to call it as a perspective ingredient in the technology of meat semi-cooked products.

The aim of this work is to make a comparative analysis of the chia and flax seeds chemical composition & the capability to swell up. After the organoleptic study of meat ground semi-finished products where chia & flax seeds had been used it was found out that chia seeds could enrich meat products with vitamins more, that is more important, with  $\omega$ -3 fat acids than flax seeds. Moreover chia seeds contain much more natural anti-oxidant tocopheryl than flax seeds. It is believed that chia seeds & the oil made from them will acidify less than flax seeds which have the predisposition to it. During the comparative analysis of the swelling level of chia & flax seeds it was found out that chia seeds swells better in the water producing the smooth gel. The process of chia seeds swelling is more active and it proves that chia seeds have the bigger layer of jelly coat than flax seeds. So we came to the conclusion that chia seeds make better gel than flax ones and they can be used as a setting agent for meat ground semi-finished products.

## ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІВ З НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА М'ЯСНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

В. В. Гречко, І. М. Страшинський, В. М. Пасічний

Національний університет харчових технологій

*У м'ясній промисловості через нестабільні функціонально-технологічні властивості м'ясної сировини, що надходить на виробництво, не можна обійтись без структуроутворювачів, стабілізаторів та емульгаторів. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є пошук натуральних структуроформуючих добавок з нетрадиційної рослинної сировини. Таким інгредієнтом є насіння чіа, що має здатність утворювати гель і утримує вологу, яка по масі перевищує вагу гелю в 27 разів. Аналіз літературних джерел підтвердив, що використання гелю з насіння чіа вивчене недостатньо, що надає можливість розглянути його як перспективний інгредієнт у технології м'ясних напівфабрикатів.*

*Метою цього дослідження є проведення порівняльного аналізу хімічного складу та здатності до набухання насіння чіа і насіння льону й органолептична оцінка м'ясних січених напівфабрикатів з їх використанням у дослідних рецептурах. Насіння чіа може збагатити м'ясні продукти вітамінами, а найважливіше  $\omega$ -3 жирними кислотами, вміст яких більший, ніж у насінні льону. Причому одночасно насіння чіа містить значно більше природного антиоксиданту токоферолу, ніж насіння льону. Можна вважати, що насіння чіа і олії, які отримуються з нього, будуть значно меншою мірою окислюватися, що характерно для олій з насіння льону. При проведенні порівняльного аналізу ступеня набухання насіння чіа і льону було встановлено, що насіння чіа краще набухає у воді, утворюючи однорідний гель. Процес набухання насіння чіа відбувається більш інтенсивно, що свідчить про більший шар слизової оболонки порівняно з льоном. Тож можна зробити висновок, що насіння чіа краще утворює гель, ніж насіння льону, та може використовуватись як структуроутворювач у технології м'ясних січених напівфабрикатів.*

**Ключові слова:** насіння чіа, насіння льону, ступінь набухання, технологія, м'ясні січені напівфабрикати.

**Постановка проблеми.** У м'ясній промисловості через нестабільні функціонально-технологічні властивості м'ясної сировини, що надходить у виробництво, не можна обійтись без структуроутворювачів [1], стабілізаторів та емульгаторів на основі сировини рослинного походження [2]. Вміст цих добавок у складі м'ясопродуктів і є вирішальним фактором для споживачів, які хочуть вести здоровий спосіб життя. Одним із напрямків вирішення цієї проблеми є пошук натуральних структуроформуючих добавок з нетрадиційної рослинної сировини. Таким інгредієнтом є насіння чіа, яке має здатність утворювати гель і утримує вологу, яка по масі перевищує вагу гелю в 27 разів [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На жаль, у науковій літературі обмежена кількість досліджень гелю, одержаного з насіння чіа, а також його властивостей [4]. Відомий досвід застосування борошна з насіння чіа при виробництві борошняних кондитерських виробів [5; 6] і макаронних виробів [7]. У хлібобулочній промисловості борошно з насіння чіа використовують для випічки хліба [8]. В м'ясній промисловості відомий досвід використання борошна насіння чіа в кількості 10% (шляхом заміщення аналогічної кількості свинини нежирної) [9].

Рослина чіа і продукти з неї дозволені в США (USDA, FDA). На підставі результатів проведених досліджень та існуючої тривалої практики безпечного використання рослини чіа в харчуванні людини і харчовій промисловості. США Комісія з контролю харчових і лікарських речовин (FDA) не вважає за доцільне додаткове отримання статусу GRAS («В цілому вважається безпечним») для рослини чіа.

У Європі можливість використання насіння чіа як нового харчового інгредієнта була вперше розглянута ACNFP (Велика Британія) за заявкою компанії R. Craig & Sons Ltd. в 2003 році. Комісія зазначила, що згідно з Novel Food Regulation (EC) No. 258/97 цільне насіння чіа і вся рослина цілком належать до Класу 2.2. У 2005 р. Європейським управлінням з контролю безпеки продуктів харчування EFSA прийнято рішення щодо можливості використання насіння чіа як компонента при випічці хліба [10]. При цьому, згідно з розрахунками компанії-заявника та укладення U. K. Advisory Committee for Novel Foods and Processes (Annual Report 2003), яка запропонувала використовувати при випічці хліба до 5% борошна з насіння чіа, щоденне споживання чіа в складі хлібобулочних виробів становитиме для дітей від 1,5 до 4,5 років до 3,2 г на добу, для дітей від 4,5 до 18 років — до 4,3 г/добу [11].

З урахуванням досвіду безпечного використання в наступні роки рослини чіа в харчуванні населення (в тому числі дитячого) США, Канади, Австралії, Європи, рішенням EFSA від 22 січня 2013 року було дозволено розширення використання насіння чіа в продуктах масового споживання, в тому числі хлібі і випічці, а також в зернових сніданках, фрукто-горіхово-зернових сумішах з 5 до 10%, а розфасованого насіння чіа — до 15 г в день [12].

У квітні 2013 р. Інститут харчування Російської академії медичних наук надав звіт про можливість використання борошна з насіння рослини чіа в харчуванні дітей старше трьох років [13].

Отже, аналіз літературних джерел підтвердив, що використання гелю з насіння чіа у м'ясопереробній промисловості не було достатньо вивчене, що дає можливість розглядати його як перспективний інгредієнт у технології м'ясних напівфабрикатів.

**Метою статті** є проведення порівняльного аналізу хімічного складу та здатності до набухання насіння чіа і насіння льону та органолептична оцінка м'ясних січених напівфабрикатів з їх використанням у дослідних рецептурах.

**Матеріали і методи.** Для дослідження процесу набухання насіння використали методика, що заснована на визначенні збільшення маси насіння

залежно від тривалості замочування [14]. Ступінь набухання виражають через збільшення маси у відсотках до маси взятої наважки  $G_0$ :

$$\varphi = \frac{G - G_0}{G_0} 100\%, \quad (1)$$

де  $G$  — маса набухлої наважки у певний проміжок часу, г;  $G_0$  — вихідна маса наважки, г. Наважки насіння обох культур замочували у воді, при температурі  $20^\circ\text{C}$  і витримували різні проміжки часу. Для кожного варіанта готували 6...10 наважок по 5 г, які поміщали у металеві перфоровані стаканчики і занурювали у воду. Через кожні 5 хв одну з наважок виймали, забирали зайву вологу і зважували.

Сенсорна оцінка м'ясних січених напівфабрикатів проводилася відповідно до стандарту ДСТУ 4437:2005. Дослідження проводили дегустатори, які характеризували продукт за шістьма показниками (зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція, смак і соковитість) методом бальної оцінки за п'ятибальною шкалою. Підготовку до дегустації проводили відповідно до вимог стандарту ДСТУ 4823:2007. Після проведення оцінки кожен оцінювач заповнив дегустаційні листи. Результати підсумували і отримали загальну сенсорну оцінку продукту.

**Викладення основних результатів дослідження.** Насіння чіа *Salvia hispanica* відноситься до сімейства ясноткових, вони ж губоцвітні. Його батьківщина — територія сучасної Південної Мексики і Гватемали. Цей трав'янистий однорічник нерідко виростає вище 175 см. Цінними є його насінини, дрібні, овальні, близько 1 мм в діаметрі. Вони бувають чорні, білі, сірі, коричневі або строкаті, колір насіння не впливає на смак. У доколумбову епоху насіння чіа було надзвичайно популярним в ацтеків, займаючи в їхньому раціоні третє місце після кукурудзи і квасолі. Індіанці цінували цю рослину за виняткові поживні властивості. Згідно з легендою, ацтекські воїни могли підтримувати сили протягом всього дня малою жменькою насіння, не більше столової ложки, якщо використовувати сучасні аналогії. З допомогою чіа лікували рани, застуду, ангіну, розлади травлення, позбавляли від неприємного запаху тіла [15].

Зараз насіння чіа вирощують у промислових масштабах в Мексиці, Болівії, Аргентині, Еквадорі, Нікарагуа, Гватемалі, Австралії, врожаї варіюють від 450 до 1200 кг/га. Чіа охоче культивували б і в зонах помірного клімату, але ця рослина короткого дня, тобто воно зацвітає восени, і насіння не встигає дозріти до настання холодів. Однак селекціонери працюють над цією проблемою [15].

Використання рослини чіа для харчових цілей досить широке. Максимальні обсяги виробництва харчових добавок, зернових сніданків, кондитерських виробів, зокрема для дітей, спостерігаються в США і Канаді. На їхньому ринку представлені такі компанії: Nutraceu ticals Holding LLC — 1000 кг/місяць, Valensa International LLC — 10000 кг/місяць, Greensplus — 17000 кг/місяць, Nature's Path — 1000 кг/місяць, Ruth's Hempfood — 1500 кг/місяць, Salba — 300000 кг/рік. Друге місце за споживанням насіння чіа

посідає Австралія та Нова Зеландія: компанія Dovedale Bread (NZ) — 3000 кг/місяць та The Chia Company (Австралія) — 1000 кг/рік [11].

Високий попит на компоненти рослини чіа пояснюється її унікальним хімічним складом. За інформацією, наданою науковцями, насіння чіа містить близько 21% білка, що більше за зернові, такі як пшениця (14%), кукурудза (14%), рис (8,5%), овес (15,3%), ячмінь (9,2%), амарант (14,8%) [12].

Насіння чіа містить олію (приблизно одну третину його маси), близько 60% якої є  $\alpha$ -ліноленова кислота, що робить цей інгредієнт джерелом омега-3 жирних кислот. Такий сприятливий жирнокислотний склад вказує на функціональність насіння чіа як корисної добавки до їжі [13].

Ще одним насінням, яке може утворювати гель, є насіння льону. Воно, на відміну від насіння чіа, вирощується на території України і більш доступне. Насіння чіа і насіння льону багате на вітаміни та мінерали. Порівняльна характеристика харчової цінності насіння рослини чіа і насіння льону наведена в табл. 1.

Наведені в табл. 1 дані вказують на достатню схожість основних показників насіння чіа та льону. Водночас привертає увагу більш високий вміст білка і менший вміст жиру в насінні чіа порівняно з насінням льону.

*Таблиця 1. Склад вітамінів і мінеральних речовин у насінні чіа та льону (на 100 г) [13]*

Показники	Насіння чіа	Насіння льону
Білок, г	20—22	18,3
Жир, г	30—35	42,2
Вуглеводи, г	25—41	1,6
Харчові волокна, г	18—30	27,3
Зола, г	4—6	3,7
Насичені жирні кислоти, г	3,3	3,7
Ненасичені жирні к-ти, г, в тому числі $\omega$ -3, г	27,0 21,0	20,0 17,5
Мінеральні речовини, мг:		
Кальцій	536	255
Магній	350,3	392
Натрій	12,2	30
Калій	564,0	813
Фосфор	751	642
Залізо	6,3	5,7
Цинк	4,4	4,3
Мідь, мкг	1400	1220
Вітаміни, мг:		
Вітамін В <sub>1</sub> (тіамін)	0,45	1,6
Вітамін В <sub>2</sub> (рибофлавін)	0,04	0,16
Вітамін В <sub>6</sub> (піридоксин)	0,1	0,473
Вітамін В <sub>9</sub> (фолієва), мкг	110	87
Вітамін С	5,4	0,6
Вітамін Е, (ТЕ), мг	1,16	0,31
Вітамін РР (ніаціновий еквівалент)	6,13	3,08
Енергетична цінність, ккал	472	534

Насіння чіа має сприятливий жирнокислотний склад. У ньому нижчий вміст насичених жирних кислот (3,3 проти 3,7 г / 100 г в насінні чіа і льону відповідно) і вищий вміст ненасичених жирних кислот (27 проти 20 г / 100 г), співвідношення яких становить 9 : 1 і 6 : 1 в насінні чіа і льону відповідно). У насінні чіа вищий вміст  $\omega$ -3 поліненасичених жирних кислот (21 проти 17%). Тож можна зробити висновок, що харчова цінність насіння чіа досить близька до харчової цінності насіння льону. У той же час, як було зазначено, особливістю насіння чіа є ще більш високий вміст  $\omega$ -3 жирних кислот, ніж у насінні льону, причому одночасно насіння чіа містять значно більше природного антиоксиданту токоферолу, ніж насіння льону. Можна вважати, що насіння чіа і олія, яка отримується з нього, будуть значно меншою мірою окислюватися, що характерно для олії з насіння льону. Це особливо важливо з огляду на наявні дані літератури та клінічні спостереження, що вказують на швидке згіркнення лляної олії, що є перешкодою для її використання в харчуванні, наприклад, дітей.

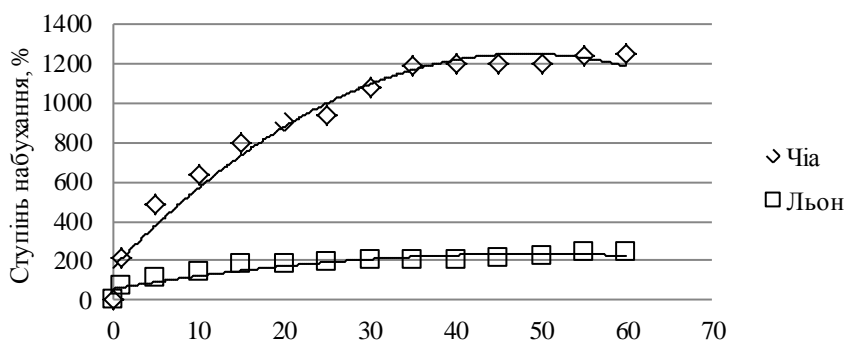
Результати порівняльного аналізу здатності насіння чіа і льону до набухання й утворення гелю представлені в табл. 2. Ступінь набухання визначається як відношення маси поглинутої рідини до початкової маси наважки насіння. Граничний ступінь набухання відповідає такому стану, коли більша кількість рідини не може бути поглинута і швидкість набухання зменшується до нульового значення.

*Таблиця 2. Визначення ступеня набухання насіння чіа та льону*

Тривалість замочування, хв	Маса, г	Приріст маси, г	$\phi$ , %	$\phi_{\max} - \phi$	Маса, г	Приріст маси, г	$\phi$ , %	$\phi_{\max} - \phi$
0	6	—	—	—	6	—	—	—
1	19,14	13,14	219	1032	10,23	4,23	70	176
5	35,35	29,35	489	762	13,12	7,12	118	128
10	44,45	38,45	640	611	14,34	8,34	139	107
15	53,87	47,87	797	454	17,12	11,12	185	61
20	60,34	54,34	905	346	17,24	11,24	187	59
25	62,54	56,54	939	312	17,55	11,55	192	54
30	70,65	64,65	1077	174	18,01	12,01	200	46
35	77,45	71,45	1190	61	18,14	12,14	202	44
40	77,76	71,76	1196	55	18,59	12,59	209	37
45	77,87	71,87	1198	53	19,18	13,18	219	27
50	78,12	72,12	1202	49	19,23	13,18	220	26
55	80,23	74,23	1237	14	20,66	14,66	244	2
60	81,10	75,10	1251	-	20,76	14,76	246	-

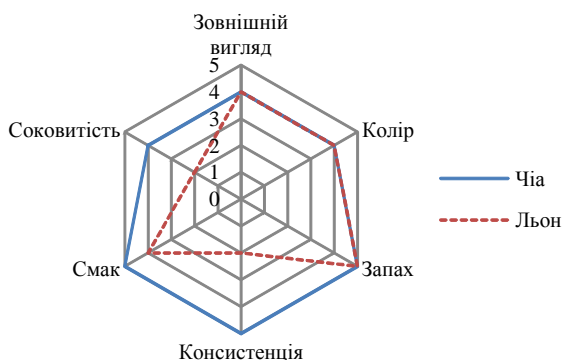
З табл. 2 видно, що з двох досліджених зразків найбільше набухає насіння чіа, менше — насіння льону. Для насіння чіа максимальною є кількість поглинутої рідини за одиницю часу. При 20°C час досягнення практично повного набухання у воді складає: для насіння чіа — 30 хв, для льону — 15 хв.

На рис. 1 наведено залежність ступеня набухання насіння чіа та льону від часу при температурі води 20°C. На початковій ділянці спостерігається різке зростання ступеня набухання, що відбувається з постійною швидкістю. При цьому проходить процес гідратації високомолекулярних сполук сировини. Далі швидкість набухання зменшується, ступінь набухання зростає повільніше і за певних умов досягає максимального, або граничного значення.



**Рис. 1.** Залежність ступеня набухання від тривалості замочування

Для проведення органолептичної оцінки було розроблено по три рецептури дослідних зразків м'ясних січених напівфабрикатів з однаковим вмістом борошна з насіння чіа та насіння льону в гідратованому вигляді: зразки № 1 — 1,5%, зразки № 2 — 3%, зразки № 3 — 4%. Сенсорна характеристика контрольного і досліджуваних зразків наведена на рис. 2. Вироби після термічної обробки з борошном із насіння чіа мають рівну поверхню, добре зберігають форму, соковиті. Вироби з насінням льону погано тримають форму, мають тріщини на поверхні, погану консистенцію. Щодо смаку, то всі зразки № 1 отримали високі оцінки дегустаторів.



**Рис. 2.** Сенсорна характеристика контрольного і досліджуваних зразків

## **Висновки**

Використання насіння чіа може збагатити м'ясні продукти вітамінами, особливо  $\omega$ -3 жирними кислотами більшою мірою, ніж насіння льону. Причому одночасно насіння чіа містить значно більше природного антиоксиданту токоферолу, ніж насіння льону. Можна вважати, що насіння чіа і олія, що отримується з нього, будуть меншою мірою окислюватися, що характерно для олії з насіння льону.

Проведений порівняльний аналіз ступеня набухання насіння чіа і льону показав, що насіння чіа краще набухає у воді, утворюючи однорідний гель. Процес набухання насіння чіа відбувається більш інтенсивно, що свідчить про більший шар слизової оболонки порівняно з льоном. Отже, можна зробити висновок, що насіння чіа краще утворює гель, ніж насіння льону, та може використовуватись як структуроутворювач у технології м'ясних січених напівфабрикатів.

## **Література**

1. Ivanov S., Pasichnyy V., Strashinskiy I., Marinin A., Fursik O. & Krepak, V. (2014). Polufabrikaty iz myasa indeyki s ispolzovaniem teksturoformiruyuschih napolniteley. *Himiya i tehnologiya pishi*, 2(48), 25—33.
2. Strashynskiy I. M., Fursik O. P., Pasichnyy V. M., Marynin A. I., & Goncharov G. I. (2016). *Vplyv v funktsionalnoi harchovoi kompozycji na vlastyivost i m'jasnyh farshevyh system. Vostochno-evropejsky j zhurnal peredovih tehnologij*, 6, 11—84.
3. Hernández L. M. Mucilage from chia seeds (*Salvia hispanica*): Microstructure, physico-chemical characterization and applications in food industry. PhD Thesis. Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012. 146 p.
4. Timilsena Y. P., Adhikari R., Kasapis S., Adhikari B. Rheological and microstructural properties of the chia seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015. V. 81, pp. 991—999.
5. Хромченкова Е. П., Макаренко М. А., Бессонов В. В. Применение муки из семян Чиа при производстве мучных кондитерских изделий. *Вопросы питания*. 2014. № 3. С. 206—207.
6. Наумова Н. Л., Образцов А. Б., Козубцев М. В. Содержание отдельных минеральных элементов в печенье с добавлением растительных компонентов *NutraChia Low 8. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2016. Том 6. С. 24—27.
7. Лигостаев Д. Г., Наумова Н. Л., Лукин А. А. Стабильность качества лапши домашней при использовании *NutraChia Low 8. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2017. Том 2(43). С. 17—22.
8. Наумова Н. Л., Берестовая Н. С. Актуальность и опыт применения муки чиа в хлебулочном производстве. Приоритеты и научное обеспечение реализации государственной политики здорового питания в России: Мат. IV междунар. научн.-практ. конф. (г. Орел, 15 ноября — 15 декабря 2015 г.). 2015. С. 306—310.
9. Наумова Н. Л., Лукин А. А., Семиздралова В.В. Потребительские свойства и минеральный состав мясного хлеба с добавлением нетрадиционного растительного сырья. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2016. Том 10(144). С.127—132.
10. EC («Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the safety of chia (*Salvia hispanica* L.) seed and ground whole chia seed as a novel food ingredient intended for use in bread». *The EFSA Journal* (2005) 278, 1—12.

11. Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies on a request from the European Commission on the safety of 'Chia seed (*Salvia hispanica*) and ground whole Chia seed' as a food ingredient. *The EFSA Journal* (2009) 996. Pp. 1—26.

12. Страшинський І. М., Гречко В. В., Пасічний В. М. Вивчення ступеня подрібнення насіння чіа на здатність до гелеутворення. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Том 30(69). № 3. Ч. 2. С. 102—106

13. Конь И. Я., Ширина М. Н., Гмошинская М. В., Бессонов В. В., Кочеткова А. А., Гурченкова М. А. Медико-биологическое обоснование возможности использования муки из семян растения Чиа в питании детей старше трех лет: отчет о научно-исследовательской работе по теме. ФГБУ «НИИ питания». Москва, 2013. 22 с.

14. Ершов Ю. А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов.: учебник для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд; под редакцией Ю. А. Ершова. 10-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2015. 535 с.

15. Ручкина Н. Чиа, шалфей испанский. *Химия и жизнь*. 2017, № 1. С. 54—56.

УДК 664.665

PERSPECTIVE OF THE ENRICHMENT  
OF BAKERY PRODUCTS BY CASEIN

**V. Drobot, J. Sorochnyńska, A. Hryshchenko**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Gluten-free bread  
Starch-sorghum mixture  
Casein  
Enrichment by protein*

---

**Article history:**

Received 10.09.2019  
Received in revised form  
25.09.2019  
Accepted 11.10.2019

---

**Corresponding author:**

V. Drobot  
**E-mail:**  
v.i.drobot@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The paper is focused on the importance of proteins with complete amino acid composition in the diet. The necessity of providing organism with proteins according to the established norms of the daily requirement for this food ingredient has been emphasized. It has been noted that gluten-free products with starch or mixtures of starch and flour of gluten-free crops — rice, corn contain only 1.0...1.8% of protein, which indicates the need for enrichment of these products with high-protein raw materials. Researches have established the feasibility of enriching of traditional bakery products with milk protein-casein, as the most complete in amino acid composition.

The purpose of the research was to determine the effect of casein on the technological process and the quality of gluten-free products from the starch-sorghum mixture, taking into account that sorghum flour contains almost twice as much protein as rice and corn. The determination was performed by baking. Common methods of control of technological process and quality of products were applied.

It has been found that in the presence of casein the intensity of fermentation and the gas-holding capacity of the dough system are slightly reduced, and the duration of proving of the dough pieces is prolonged. It has been provided that if adding 5.0...7.0% of casein by weight of the starch-sorghum mixture, bread has adequate organoleptic and physico-chemical quality indicators. The greater number of casein leads to the worse condition of the surface and the elasticity of the pulp. The degree of preservation of the freshness of casein-enriched bread is improving. The result of these studies is the establishment of the feasibility of using casein in the amount of 5.0...7.0% by weight of the starch-sorghum mixture, which provides protein content in the products in the amount of 5.3...6.5% and their proper quality.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-14

---

## ПЕРСПЕКТИВА ЗБАГАЧЕННЯ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ КАЗЕЇНОМ

В. І. Дробот, Ю. С. Сорочинська, А. М. Грищенко  
Національний університет харчових технологій

У статті акцентовано увагу на значенні білків з повноцінним амінокислотним складом у харчуванні. Підкреслено необхідність забезпечення організму білками згідно зі встановленими нормами добової потреби в цьому інгредієнті їжі. Відмічено, що безглютенові вироби з крохмалів або суміші крохмалів і борошна безглютенових культур — рисового, кукурудзяного — містять всього 1,0...1,8% білка, що свідчить про необхідність збагачення цих видів виробів високобілковою сировиною. Встановлено доцільність збагачення традиційних хлібобулочних виробів молочним білком — казеїном, як найбільш повноцінним за амінокислотним складом.

Метою проведення досліджень було визначення впливу казеїну на перебіг технологічного процесу та якість безглютенових виробів з крохмале-соргової суміші, беручи до уваги, що борошно сорго містить майже вдвічі більше білка, ніж рисове і кукурудзяне. Визначення проводили шляхом пробного випікання, застосовуючи загальноприйняті методи контролю технологічного процесу та якості виробів.

Встановлено, що за наявності казеїну незначно зменшується інтенсивність бродіння та газоутримувальна здатність тістової системи, продовжується тривалість вистоювання тістових заготовок. За умови включення до рецептури 5,0...7,0% казеїну до маси крохмале-соргової суміші хліб має належні органолептичні та фізико-хімічні показники якості. За більшої кількості казеїну погіршується стан поверхні та еластичність м'якушки. Ступінь збереження свіжості збагаченого казеїном хліба покращується. Результатом проведених досліджень є встановлення доцільності використання казеїну в кількості 5...7% до маси крохмале-соргової суміші, що забезпечує у виробах вміст білка в кількості 5,3...6,5% належної якості продукції.

**Ключові слова:** безглютеновий хліб, крохмале-соргова суміш, казеїн, збагачення білком.

**Постановка проблеми.** Білки є незамінною складовою раціону харчування. Фізіолого-гігієнічна цінність білків харчових продуктів залежить від їх амінокислотного складу.

Для забезпечення повноцінного функціонування організму необхідне регулярне надходження достатньої кількості білка зі збалансованим амінокислотним складом. Так, затвердженими МОЗ України нормами фізіологічних потреб населення України в білках, жирах, вуглеводах та енергії (2017 р.) передбачено, що добова потреба білка для чоловіків віком 30—39 років становить 75 г, з них тваринних — 37 г; для жінок цього віку — 59 г і 29 г відповідно. Встановлено також добову потребу в незамінних амінокислотах,

що містяться у спожитих білках [1]. Надходження необхідної для організму кількості білка має забезпечити раціон харчування. Дані сучасної науки про харчування свідчать про необхідність поповнення асортименту продуктів харчування білками [2]. Під час розроблення виробів, збагачених білком, рекомендовано обирати сировину, що містить білок з високою біологічною повноцінністю та засвоюваністю, тобто здатну забезпечити або наблизити вміст білка в розробленому продукті до встановлених фізіологічних норм [3].

Поряд з іншими харчовими продуктами джерелом білка для людини є хліб. Традиційні хлібобулочні вироби містять від 6,5 до 7,6% білка. За встановленої добової норми вживання хліба (277 г) забезпечення білком чоловіків зазначеного вище віку становить 24...28%, жінок — 30...35%. При цьому треба зазначити, що білки хліба як із житнього, так і з пшеничного борошна недосконалі за амінокислотним складом [4].

Безглютенові хлібобулочні вироби для хворих на целиацію готують здебільшого з кукурудзяного, картопляного крохмалів або із суміші цих крохмалів з борошном безглютенових круп'яних культур, переважно рисовим чи кукурудзяним. Вироби з цієї сировини мають недостатню харчову цінність унаслідок низького вмісту білків, харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин і високого вмісту вуглеводів, зокрема крохмалю. Так, за даними А. М. Грищенко [5], у безглютеновому хлібі з крохмалів міститься 1,0% білків, з суміші крохмалю і рисового борошна (30% в суміші) — 1,8%, що є явно недостатньо для повноцінного функціонування організму. Це спонукає до ускладнення перебігу хвороби та її лікування. Для збільшення вмісту білка у безглютенових виробах до їх рецептури включають сировину, яка за вмістом білка та його амінокислотним складом здатна доповнити продукт цими фізіологічно активними інгредієнтами. Такою сировиною є ізоляти рослинних білків: гороху, люпину, сої тощо, або тваринні білки, які мають більш повноцінний амінокислотний склад і кращу засвоюваність ніж рослинні. Серед тваринних білків найбільш цінними є білки продуктів переробки молока: казеїн, казеїнати, сироватковий білок, сухе знежирене молоко тощо Ці білки засвоюються на 96...98% [6].

Науковою спільнотою доведено доцільність використання молочних продуктів у виробах з борошна зернових і круп'яних культур. Так, дослідниками [7] рекомендовано включати до рецептури традиційних хлібобулочних виробів казеїн у кількості 5,0% до маси борошна. При цьому вміст білка у виробах підвищується на 5,0%, амінокислоти лізину — на 26,0%, треоніну — на 31,0%. Дослідженнями В. І. Кулініч зі співавторами доведено доцільність використання 4,0% до маси борошна сухого знежиреного молока у виробництві кексів.

Дослідженнями, проведеними в Національному університеті харчових технологій, встановлено ефективність включення 8...9% казеїну до маси борошна під час виготовленні виробів для хворих на цукровий діабет. Така кількість цієї добавки забезпечує збільшення вмісту білка у виробах на 11,0...13,0%, покращує їхній амінокислотний скор [8]. У літературних

джерелах зазначається, що за умови включення до рецептури хлібобулочних виробів молочних білків підвищується водопоглинальна здатність тіста, знижується інтенсивність бродіння тістових напівфабрикатів, зменшується об'єм і пористість готових виробів, тому є необхідність використання харчових добавок. Встановлено, що включення до рецептури булочних виробів 4,0...8,0% казеїну за його сумісного використання з поверхнево-активними речовинами та харчовими кислотами покращує структурно-механічні властивості тіста, зменшує його розрідження [9].

Даних щодо використання молочних білків у рецептурах безглютенових виробів у літературних джерелах обмаль.

**Мета дослідження:** визначення доцільності включення казеїну до рецептури безглютенових хлібобулочних виробів з крохмале-соргової суміші та впливу цього збагачувача на перебіг технологічного процесу і якість виробів.

**Матеріали і методи.** Під час проведення досліджень використовували крохмале-соргову суміш із вмістом 30% борошна сорго із зернового сорту Понкі, міцелярний казеїн «Ingredia» (Франція) згідно з ISO:9001:2008, суміш структуроутворювача в складі камеді гуару E412, ГПМЦ E464 у співвідношенні 40:60, дріжджі пресовані, цукор, сіль кухонну — за рецептурою.

Визначення впливу казеїну на технологічний процес і якість виробів визначали шляхом проведення пробних випікань. Тісто готували безопарним способом без бродіння. Замішували тісто в лабораторній тістомісильній машині ЛТ-900 10 хв, вручну дозували в металеві форми. Вистоювання тістових заготовок проводили у термостаті за температури  $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$  до готовності та випікали в печі СЕШ-3 зі зволоженням пекарної камери. Контроль параметрів технологічного процесу і показників якості виробів здійснювали загальноприйнятими методами. В'язкість тіста характеризували за розпливанням кульки тіста, в'язкість клейстеризованої суміші з казеїном визначали на приладі Amilograph-E фірми Brabender. Деформацію м'якушки хліба визначали за пенетрометром АП-4 [10].

**Викладення основних результатів дослідження.** Аналіз хімічного складу борошна сорго і казеїну та амінокислотного складу білків цієї сировини показав (табл. 1, 2), що казеїн містить більше, ніж борошно сорго білка у 7 разів, мінеральних речовин — на 38%, утричі менше цукрів і в 2,2 раза — жирів. У білках казеїну незамінних амінокислот майже вдвічі більше, ніж у білках борошна сорго, амінокислотний скор кожної з них (за винятком фенілаланіну) також більший.

Таблиця 1. Хімічний склад борошна сорго та казеїну

Складові	Борошно сорго	Казеїн
Масова частка вологи, %	9,0	8,0
Масова частка білка, %	10,8	85,0
Масова частка цукрів, %	1,9	0,6 (лактоза)
Масова частка харчових волокон, %	6,5	—
Масова частка жиру, %	3,1	1,4
Масова частка золи, %	1,8	2,5

Важливим є значний вміст у цих білках сірководневих амінокислот (метіонін + цистин), адже ці амінокислоти мають антиоксидантні властивості, амінокислотний СКОР їх становить 80%. Показник PDCAAS білків казеїну за лізином більший у 3,4 раза, метіоніном — у 1,8 раза, ніж білків соргової борошна. Цей показник більший і за іншими амінокислотами. Це свідчить про доцільність включення казеїну до рецептури безглютенових виробів з крохмале-соргової суміш з метою підвищення в цих виробках вмісту білків і покращання їх біологічної цінності.

*Таблиця 2. Амінокислотний склад борошна сорго та казеїну*

Амінокислоти	Добова потреба для дорослої людини, г	Вміст амінокислот, г/100 г, та їх СКОР			
		Борошно сорго		Казеїн	
		вміст	СКОР	вміст	СКОР
Валін	2,5	0,45	91	0,72	144
Ізолейцин	2,0	0,38	96	0,61	150
Лейцин	4,6	0,14	193	0,92	131
Лізин	4,1	0,24	43	0,82	149
Метіонін	1,8	0,15	41	0,28	80
Трионін	2,4	0,378	95	0,49	122
Триптофан	0,8	0,01	110	0,12	120
Фенілаланін	4,4	0,51	85	0,50	83
Всього	22,6	2,38	—	4,46	—

Під час проведення пробних випікань щодо визначення впливу казеїну на перебіг технологічного процесу і якість виробів з крохмале-соргової суміші готували зразки тіста за рецептурою, кг: крохмале-соргова суміш — 100,0; дріжджі пресовані — 3,0; сіль кухонна — 2,0; цукор білий кристалічний — 5,0; олія кукурудзяна — 3,0; суміш камеді гуару та ГПМЦ (60:40) — 1,0. Казеїн вносили під час замішування тіста в кількості 5,0; 7,0; 9,0% до маси крохмале-соргової суміші. Таке дозування було обрано, спираючись на дані з літературних джерел щодо погіршення структурно-механічних властивостей тіста і якості виробів з пшеничного борошна за більшого дозування [8]. Контрольним був зразок без додання казеїну.

Встановлено (табл. 3), що за наявності казеїну інтенсивність бродіння в тістовій системі знижується, тривалість вистоювання заготовок подовжується на 2—6 хв, що пов'язано з високою розчинністю казеїну, внаслідок якої збільшується осмотичний тиск у рідкій фазі тіста, погіршується доступ живлення до дріжджової мікрофлори, знижується її бродильна активність.

Це підтверджується дослідями щодо зниження підйімальної сили дріжджів за наявності казеїну на 3—6 хв і меншим виділенням діоксиду вуглецю за час ферментації тіста на 5...12%. Поряд зі зниженням газоутворення в тісті зменшується його питомий об'єм на 5...8%. Це свідчить про погіршення його газоутримувальної здатності, що пояснюється зменшенням в'язкості тіста з казеїном.

Зниження структурно-механічних властивостей зразків тіста з казеїном пов'язано з його дегідратуючими властивостями, внаслідок яких складові рецептури недостатньо набухають і тісто розріджується.

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 3. Показники технологічного процесу і якості виробів з казеїну

Показники	Контроль	Внесено казеїну, % до маси крохмале-соргової суміші		
		5	7	9
<b>Тісто</b>				
Масова частка вологи, %	51,0	51,6	51,2	51,0
Кислотність, град				
початкова	1,3	1,3	1,3	1,3
кінцева	1,5	1,5	1,6	1,6
Тривалість вистоювання, хв	58	60	62	64
Газоутворення за 60 хв ферментації, см <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /100 г тіста	270±5	257±5	245±5	237±5
Питомий об'єм тіста, см <sup>3</sup> /100 г	210±2	199±2	196±2	193±2
Розпливання кульки тіста за 60 хв ферментації, %	120	131	133	136
<b>Хліб</b>				
Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /100 г	322±3	310±3	304±3	295±3
Пористість, %	74	73	72	71
Кислотність, град	1,3	1,3	1,3	1,3
Кришкуватість через 24 год	2,6	2,4	2,3	2,1
Стан поверхні	Гладка, опукла без тріщин і підривів			Плоска з невеликими тріщинами
Забарвлення скоринки	Золотисто-жовта	Світло-коричнева		
Еластичність м'якушки	Хороша			Менш еластична
Структура пористості	Середня, рівномірна, тонкостінна			Крупна, нерівномірна, тонкостінна
Смак і аромат	Властивий цьому виду хліба	Приємний, зі слабким молочним запахом		

Зменшення інтенсивності бродіння та послаблення структурно-механічних властивостей тістової системи з казеїном позначається на якості хліба незначно. Питомий об'єм хліба казеїном зменшується на 4...8%, пористість — на 2,0%. Зменшення об'єму та пористості виробів з казеїном можна також пояснити особливостями формування його структури під час випікання. Дослідженнями науковців методом лазерно-скануючої мікроскопії встановлено, що у безглютеновому тісті клейстеризований крохмаль і загущувачі утворюють сітчасту структуру подібно клейковині. Ця структура утримує пухирці повітря і діоксид вуглецю, що утворився під час бродіння. В процесі випікання ця газоподібна фаза тіста розширюється, пухирці газу вибухають, утворюючи пористу структуру виробів, об'єм тістової заготовки збільшується, закріплюється форма і об'єм виробу [11; 12].

Дослідженнями в'язкості крохмале-соргової суміші на амілографі встановлено, що за наявності казеїну цей показник зменшується зі збільшенням вмісту казеїну (на 9,9...22%). Це, очевидно, послаблює структуру, утворену клейстеризованим крохмалем і загущувачами, знижує її спроможність утримувати газоподібну фазу тіста, що призводить до зменшення об'єму і пористості хліба тим більше, чим більше казеїну в рецептурі тіста (табл. 4)

*Таблиця 4. Показники амілограм суспензії*

Борошняна суспензія	Час до початку клейстеризації, хв	Температура клейстеризації, °С	Максимальна в'язкість системи, од. пр.
Контроль без казеїну	24,3	66,8	4265
З додаванням казеїну, % до маси крохмале-соргової суміші			
5	24,5	67,5	3845
7	26,0	67,7	3626
9	25,1	67,8	3310

Поряд з цим усі зразки з казеїном краще зберігали свіжість, що обумовлено збільшенням у цих зразках кількості білків з високою водопоглинальною здатністю. Кращі показники якості мали зразки хліба за вмісту казеїну 5...7% до маси крохмале-соргової суміші. За такого дозування загальна кількість білка в добовій нормі споживання хліба (277 г) становитиме 14,6...18 г.

### **Висновки**

Проведеними дослідженнями доведено, що для збагачення безглютенових виробів з крохмале-соргової суміші білком з повноцінним амінокислотним складом доцільно використовувати казеїн в кількості 5...7% до її маси. Така кількість казеїну в поєднанні з білком борошна сорго, за умови вживання 277 г хліба (встановлена добова норма), достатня для покриття 24...30% середньої добової потреби організму в білках для жінок віком 30—39 років і 19...24%, відповідно, чоловіків цього віку, що близько до забезпечення цієї групи споживачів білком традиційного хліба.

### **Література**

1. Наказ МОН України «Про затвердження норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії».
2. Капрельянц Л. В., Юрґачова К. Г. Функціональні продукти. Одеса: Друк, 2003. 312 с.
3. Гуліч М. П. Сучасні підходи та гігієнічна оцінка функціональних продуктів харчування. *СЕС — профілактична медицина*. 2005. № 1. С. 54—55.
4. Зайцева Т. А., Могильный М. П. Влияние белковых добавок на аминокислотный состав хлебобулочных изделий. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2008. 4. С. 30—32.
5. Грищенко А. М. Удосконалення технології хліба з безглютенової сировини: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 «Зберігання і технологія переробки зерна, виготовлення зернових і хлібобулочних виробів та комбикормів». Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2011. 20 с.
6. Матвеева И., Нестеренко В. Перспективные виды сырья для производства безглютеновых изделий. *Хлебопродукты*. 2011. 43 с.

7. Ісенко В. Молочний казеїн ефективний збагачувач хліба. *Хлібопекарська та кондитерська промисловість України*, 2009. 10 с.

8. Шевченко А. О. Удосконалення технології діабетичних хлібобулочних виробів, збагачених функціональними інгредієнтами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 «Технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів». Київ, 2018. 20 с.

9. Ткачук Ю. М., Гавриш А. В., Неміріч О. В., Іщенко Т. І., Доценко В. Ф. Удосконалення технології хліба підвищеної біологічної цінності за використання казеїну. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2013. № 30. С. 186—192.

10. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів / за ред. чл.-кор. НААН В.І. Дробот. Київ: Кондор-Видавництво, 2015. 972 с.

11. Ковэн С. Технология хлебопечения (перевод с английского). СПб.: Профессия, 2017. С. 408—414.

12. Иоргачева Е. Г. Макарова О. В. Технологические свойства компонентов безглютеновых мучных смесей. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса. Т. 1, № 40. С. 104—107.

THE MODERN ASPECTS OF THE USE OF HERBS RAW MATERIALS TO PREVENT THE SPOILAGE OF BAKERY PRODUCTS WITH LOW-MOISTURE CONTENT

**K. Iorgachova, N. Sokolova, O. Makarova, L. Gordienko**

*Odessa National Academy of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Bakery products*  
*Herbs extracts*  
*Rancidity*

**Article history:**

Received 16.09.2019  
Received in revised form  
30.09.2019  
Accepted 15.10.2019

**Corresponding author:**

N. Sokolova  
**E-mail:**  
awatana@ukr.net

**ABSTRACT**

---

The different ways of rancidity prevention in flour-based products have been considered in the paper. It contains the information about distribute synthetic antioxidants, which is used for the problem solving connected with rancidity, and their possible detrimental effect on human health.

The benefits of using herbs raw materials as a source of natural substances with antioxidant and antimicrobial action have been showed. They also can be the alternative to synthetic additives.

The results about quantity of some antioxidant substances in water extracts of herbs were given. It has showed that hop extracts (ratio to water 1:100) contained 67.4 eq. GAE/g, chamomile extract (ratio to water 1:10) had less — 18.3 mg GAE/g. Total flavanoid content was 5.7; 11.2; 23.2 mg of rutin eq./g for extracts made from chamomile, nettle and hop respectively.

The expediency of use such extracts in the technology of sweet baked goods with low moisture content to solve the problems related with spoilage during storage has been shown.

The regularities of the influence of the herbs extracts on the oxidative and hydrolytic processes of rancidity in sweet baked products during storage have been studied. It has been determined that the addition of hop extract to the recipe of products was more effective in case of inhibits the rancidity than the extracts of chamomile or nettle. It was found that the use of herbs extracts allow to reduce peroxide value after 90 days of storage by 2 times, and acid number — by 2.5 times in comparison with the control, which correlates with efficiency of using synthetic BHA. It has been noted that products with herbs extracts had higher microbiological stability than control sample during all period of storage. The sensory characteristics of the products with extracts were higher too.

## СУЧАСНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ГАЛЬМУВАННЯ ПСУВАННЯ ХЛІББУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ЗНИЖЕНОЇ ВОЛОГОСТІ

К. Г. Іоргачова, Н. Ю. Соколова, О. В. Макарова, Л. В. Гордієнко

*Одеська національна академія харчових технологій*

*У статті розглянуто існуючі шляхи захисту жиркової складової борошняних виробів від окислення. Наведено інформацію про найбільш розповсюджені у харчовій промисловості синтетичні антиоксиданти, які використовують для вирішення проблем, пов'язаних із псуванням жиру, та аналіз літературних даних щодо ризику їх негативного впливу при потраплянні в організм.*

*Показано переваги використання рослинної сировини, яка за рахунок складного природного комплексу біологічно активних речовин, що проявляють антиоксидантну й антимікробну дію, може стати альтернативою добавкам синтетичного походження.*

*Наведено результати досліджень з визначення кількості речовин, що є антиокислювачами, у водних екстрактах лікарської сировини. Показано, що вміст поліфенольних речовин був найбільшим у хмелевому екстракті (гідромодуль 1:100) і становив — 67,4 мг екв. галової кислоти/г екстракту, а найменшим — для екстракту ромашки (гідромодуль 1:10) — 18,3 мг екв. галової кислоти/г СР екстракту. Загальна кількість флаваноїдів становила — 5,7; 11,2; 23,2 мг екв. рутину/г СР екстракту для зразків отриманих з ромашки, кропиви та хмелю відповідно.*

*Доведено доцільність використання таких екстрактів у технології здобних хлібобулочних виробів зниженої вологості для вирішення проблем, що пов'язані з їх псуванням при зберіганні. Встановлено закономірності впливу екстрактів на окисні та гідролітичні процеси псування жиркової складової здобних виробів з екстрактами впродовж зберігання. Визначено, що додавання хмелевого екстракту у рецептуру виробів більшою мірою забезпечує гальмування псування жиркової складової, ніж екстракт ромашки чи кропиви. Його використання дає змогу зменшити перекисне число на 90 добу зберігання у 2 рази, а кислотне — у 2,5 раза порівняно з контролем, що співвідноситься за ефективністю з синтетичним ВНА.*

*З'ясовано, що відбувається збільшення титрованої кислотності на кінець зберігання відносно початкового значення: для контролю — на 28%, для зразка з екстрактом ромашки — на 17%, для зразка з екстрактом кропиви — на 7%, для зразка з ВНА — на 3%. Відмічено підвищення мікробіологічної стійкості виробів з екстрактами протягом усього терміну їх зберігання. Визначено смакові характеристики готових виробів, що були вищі для дослідних зразків протягом усього періоду зберігання.*

**Ключові слова:** хлібобулочні вироби, екстракти лікарських рослин, псування жиру.

**Постановка проблеми.** Трансформаційні процеси, що відбуваються в економіці України, викликають необхідність формування принципово нових підходів у діяльності хлібопекарських підприємств, оскільки нагальною стає потреба більш ефективного їх розвитку. Для цього необхідно не тільки оптимізувати транспортні та енергетичні витрати, але й постійно працювати над вдосконаленням і розширенням асортименту, забезпечувати стабільно високу якість та безпечність продукції.

Актуальним і своєчасним є удосконалення технологій хлібобулочних виробів тривалого зберігання на основі натуральних складових, які здатні не тільки збагатити вироби поживними і дефіцитними мікронутрієнтами, а й позитивно впливати на збереження їх споживчих властивостей протягом регламентованого терміну зберігання.

Добавки натурального походження на основі лікарської і пряно-ароматичної сировини можуть бути успішно використані як інгібітори біохімічних і мікробіологічних процесів, що призводять до псування продуктів. Вони являють собою складний природний комплекс біологічно активних речовин, до складу яких входять речовини, що володіють антиоксидантними й антимікробними властивостями та більш безпечні на відміну від синтетичних.

При зберіганні продуктів з високим вмістом жиру обмеження терміну придатності до споживання зумовлено їх схильністю до окислювального псування, яке є самокаталізованою реакцією та може бути потенційно небезпечним фактором. Адже цей процес не лише псує сенсорні характеристики, а й негативно впливає на харчову цінність продукції і навіть з часом може становити загрозу для здоров'я, оскільки у продукті накопичуються токсичні сполуки: ліпідні пероксиди, гідроксильні жирні кислоти, карбонільні сполуки тощо. Тому вирішення гострої проблеми мікробіологічного й окисного псування для борошняних продуктів з високим вмістом жирового компоненту завдяки застосуванню рослинної сировини стане значною підтримкою для сучасної хлібопекарської галузі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із найпоширеніших шляхів вирішення проблем, що пов'язані з подовженням терміну реалізації продуктів харчування, в тому числі здобних борошняних виробів, є додавання антиоксидантів, що здатні затримувати автоокислення, пригнічуючи утворення вільних радикалів [1]. На сьогодні широкого застосування в харчовій промисловості знайшли синтетичні антиоксиданти, такі як пропілгалат (PG, E310), трет-бутилгідрокінон (TBHQ, E319), бутилгідроксіанізол (BHA, E320) і бутилгідрокситолуол (BHT, E321) та ін. Задля розширення спектру їх дії, посилення ефекту, зменшення побічної дії на властивості напівфабрикатів виробниками також практикується використання їх композицій. До основних переваг синтетичних стабілізаторів жирової складової можна віднести: простоту застосування в харчових системах, стабільну якість та більш високу антиоксидантну активність порівняно з природними сполуками. Однак таке широке застосування синтетичних антиоксидантів бентежить споживачів, оскільки щороку з'являється все більше досліджень небезпечності вживання деяких з них. Існують відомості щодо здатності вищезазначених сполук

впливати на ферментні системи людини та її ДНК [10], виявлено тератогенний, канцерогенний і мутагенний вплив у дослідях на тваринах [6]. Вживання такого антиоксиданта як нордигідрогуаяретинова кислоти (NDGA), що широко застосовується у м'ясопереробній і консервній галузях, ідентифіковано як першопричину ниркових кістозних захворювань у гризунів [9]. Незважаючи на це, їх використання у харчовій індустрії все ще залишається дискусійним питанням. Разом з цим у споживачів формується зацікавленість у натуральних продуктах з «чистою етикеткою», які мають забезпечити їх від потрапляння у організм синтетичних сполук і поліпшувачів. Саме тому пошуки ефективних джерел натуральних антиоксидантів є досі актуальним напрямком, незважаючи на, зазвичай, їх низьку економічну ефективність.

Рослинна сировина багата на антиоксиданти прямої дії, такі як фенольні сполуки, ретинол,  $\beta$ -каротин, карбонові кислоти та ін. [16], а це значить, що вони здатні виконувати функцію антиокислювачів не лише в продукті, а й будуть продовжувати працювати у організмі людини, забезпечуючи такий популярний зараз «anti-aging» ефект. Вживання харчових продуктів, що мають антиоксидантні властивості, може звести оксидативний стрес до мінімуму та знизити ступінь його прояву.

Привабливість застосування природних джерел антиоксидантів як харчових добавок зростає в аспекті їх потенційних переваг для здоров'я, особливо це стосується рослин і екстрактів, що містять фенольні сполуки. Саме вони використовуються як стабілізатори якості ліпідної складової харчових систем [3; 14].

Останні десять років було проведено чимало досліджень щодо використання саме лікарської та пряно-ароматичної сировини при вирішенні проблем як псування самого жиру, так і жирової складової у готовій продукції [2; 12; 13; 15].

Незважаючи на вже існуючі результати використання різної лікарської, пряно-ароматичної сировини у хлібопекарському виробництві [3; 7; 13], недостатньо розглянуто питання застосування природних джерел антиоксидантів у технології хлібобулочних виробів з низьким вмістом вологи, таких як здобні сухарі, сухарики, хлібні палички тощо. Проте цей вид виробів користується підвищеним попитом, оскільки є популярною «їжею на ходу» і характеризується тривалим терміном зберігання.

Завдяки збагаченню рецептурного складу сухарів, сухариків та інших виробів зниженої вологості нетрадиційними натуральними інгредієнтами багатофункціональної дії з'являється можливість надавати виробам оздоровчих властивостей. Таким чином можна отримати додатковий прибуток, оскільки вартість виробів цієї категорії значно відрізняється від вартості соціально значимого хліба.

Строки реалізації хлібобулочних виробів зниженої вологості дають можливість розглядати їх як групу виробів, що можуть імпортуватися та сприяти популяризації української продукції як на європейському, так і на світовому продовольчому ринку.

**Мета дослідження:** визначити ефективність використання водних екстрактів рослинної сировини (хмелю, ромашки, кропиви) для уповільнення псування жирової складової сухарів при їх зберіганні та порівняння їх ефективність з синтетичним антиоксидантом ВНА.

**Викладення основних результатів дослідження.** Обрана для отримання екстрактів лікарська та пряно-ароматична сировина — хміль, кропива та ромашка, мають різний хімічний склад і відрізняються активними діючими речовинами. Вона багата на поліфеноли та флаваноїди, які добре відомі як речовини з антиоксидантною активністю. Загальноприйнятими методами визначено загальний вміст поліфенольних речовин і флаваноїдів в екстрактах (рис. 1). Для їх приготування використовували сухий лист кропиви (*Urtica dioica*) та частину стебел і квіток ромашки (*Matricaria recutita*), що відповідали вимогам ТУ 10.8-3259306996-001:2017, та гранульований хміль типу 90 «UA-AROMA» — ДСТУ 4098.2-2002. Для отримання екстрактів з ромашки та кропиви при гідромодулі 1:10 сировину заливали водою з температурою (90...95)°С, настоювали при постійному перемішуванні протягом 15 хв та фільтрували.

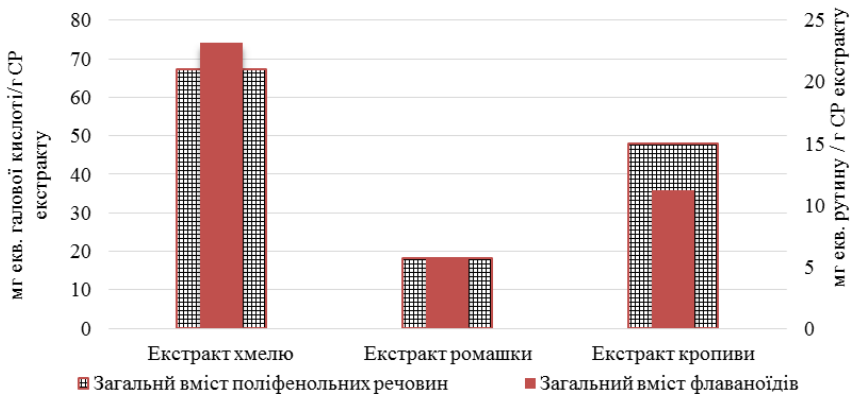


Рис. 1. Загальний вміст поліфенольних речовин і флаваноїдів у водних екстрактах

З огляду на хімічний склад хмелю екстракт з цієї сировини виготовляли по-іншому, оскільки вона вимагає особливих умов для екстракції цінної речовини — ізогумулону, який проявляє антисептичні властивості і бере участь в окисно-відновних реакціях. Гранули хмелю засипали у воду з температурою (90...95)°С у співвідношенні 1:100, після чого кип'ятили протягом 90 хв при повільному перемішуванні, потім екстракт фільтрували. Очевидно, що на вміст речовин з антиоксидантними властивостями впливають як умови екстракції, так і регіон збору тих чи інших трав. Встановлено, що навіть достатньо прості умови екстракції, які можна з легкістю відтворити на хлібопекарських підприємствах будь-якої потужності, дають змогу отримати екстракти, що мають у своєму складі достатню кількість антиоксидантних речовин і можуть потенційно конкурувати з синтетичними антиоксидантами.

Виявлено, що за обраних умов отримання екстрактів найбільший вміст загальної кількості фенольних сполук мав хмелевий екстракт, на 28% менше їх містив екстракт кропиви і на 72% — екстракт ромашки. Такий результат можна пояснити більш високим вмістом поліфенольних речовин у вихідній сировині, саме тому використовували різний гідромодуль. Дослідження Knez Hrnčič та ін. [5] також показали здатність поліфенольних речовин хмелю добре розчинятись у воді при будь-якій температурі і зберігати свою активність навіть після тривалої дії високих температур. Вміст флаванолігнів для екстракту хмелю становив 23,2 мг екв. рутину на 1 г СР екстракту, в екстракті кропиви і ромашки на 51% та 75%, відповідно, менше

Порівнювати загальну антиоксидантну активність екстрактів досить складно, ще складніше передбачити ефект екстрактів на процеси, які будуть відбуватися у продукті, тому важливо було оцінити безпосередній їх вплив на показники, що здатні опосередковано охарактеризувати швидкість гідролітичних та окисних процесів, перебіг яких відбувається у жировій фракції під час зберігання здобних хлібобулочних виробів зниженої вологості. При приготуванні виробів екстракти хмелю, кропиви та ромашки вносили замість частки води, передбаченої на заміс тіста, у кількості 25%, 50%, 75% відповідно.

Накопичення вільних жирних кислот у жири в результаті гідролітичних і окислювальних процесів оцінювали за кислотним числом, кількість первинних продуктів процесу псування — за перекисним (табл. 1). Їх визначали для жиру, що був попередньо вилучений зі зразків, які зберігались за регламентованих умов зберігання (сухарі здобні зберігались насипом у ящиках з гофрованого картону, при 20...22°C та відносній вологості повітря 65...70%) протягом 90 діб. Тривалість зберігання звичайних здобних сухарів становить 60 діб, проте важливо було встановити чи здатні екстракти та ВНА збільшувати строк придатності готових виробів.

*Таблиця 1. Перекисне та кислотне числа готових виробів через 90 діб зберігання*

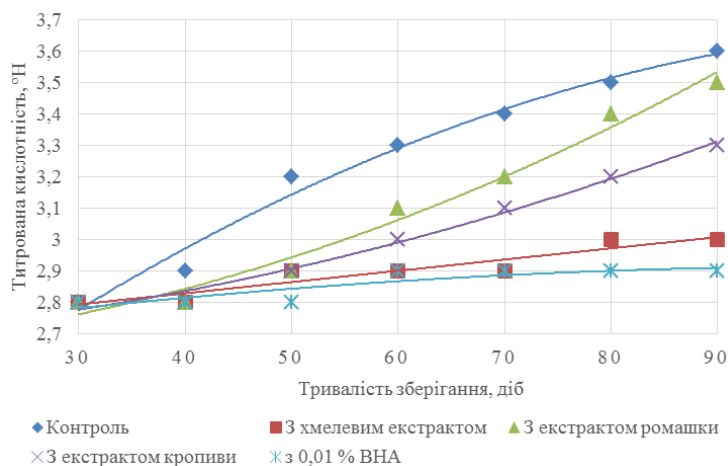
Зразок	Перекисне число, ммоль O <sub>2</sub> /кг	Кислотне число, мг КОН/г
Контроль	2,8	1,62
З хмелевим екстрактом	1,4	0,64
З екстрактом ромашки	2,6	1,38
З екстрактом кропиви	1,8	0,83
З 0,01% ВНА	0,9	0,51

Встановлено, що хмелевий екстракт у рецептурі виробів забезпечив значне гальмування процесу псування жирової складової. Перекисне число було у 2 рази, а кислотне — у 2,5 рази меншим порівняно з контролем, такий результат майже не поступався в ефективності синтетичному ВНА. Останній у дозуванні, рекомендованому виробником, судячи зі значень перекисного і кислотного числа, сприяв уповільненню негативних процесів більш ніж у 3 рази. Екстракт кропиви був менш ефективним, виявлено зменшення порівняно з контролем кислотного числа у такого зразка на 55%, а перекисного — на 17%. Найменш ефективним для вирішення поставленого завдання виявився зразок з екстрактом ромашки.

Основними продуктами, що утворюються при псуванні жиру, є гідропероксиди, які згодом руйнуються в серії складних реакцій. У результаті цього утворюються вторинні продукти, такі як спирти та карбонільні сполуки [11], що можуть окислюватися далі до карбонових кислот. З огляду на дані (табл. 1) хмелевий екстракт здатний загальмовувати процес псування як на етапі утворення первинних, так і вторинних продуктів окислення, що означає менше накопичення спиртів, альдегідів, кетонів та їх різноманітних похідних, які здатні суттєво знижувати сенсорні характеристики продукту. У той же час очевидно, що екстракт кропиви більш дієвий у гальмуванні гідролітичних процесів з накопиченням первинних продуктів.

Збільшення титрованої кислотності, накопичення органічних кислот та інших кислотно-реактивних сполук відбувається в результаті окислювальних, гідролітичних процесів у ліпідах. При зберіганні майже всіх зразків титрована кислотність почала збільшуватись порівняно з початковим значенням (2,8 °Н), тільки після 30 діб зберігання (рис. 2), втім інтенсивність цих процесів була різною.

Збільшення кислотності на кінець зберігання відносно початкового значення для контролю складало 28%, для зразка з екстрактом ромашки — 17%, для зразка з екстрактом кропиви — 7%, для зразка з ВНА — 3%. Зразком, який практично не змінив свої показники щодо вихідної точки, був зразок з екстрактом хмелю, що закономірно співвідноситься зі значним вмістом поліфенольних сполук в ньому порівняно з іншими екстрактами, які були обрані для досліджень.



**Рис. 2.** Зміна титрованої кислотності сухарних виробів при зберіганні

Реакція гідролізу, що викликає псування жиру, не активується так легко, як реакція окислення, він каталізується ферментами, в більшості випадків — ліпазами. Ці ферменти природним чином наявні в багатьох продуктах харчування. У деяких випадках ліпази, які потім індукують гідролітичне псування, продукують мікроорганізми.

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Швидкість зміни мікробіологічних і ряду фізико-хімічних показників якості виробів у процесі тривалого зберігання залежить від кількісного вмісту вологи, яка протягом усього терміну зберігання значно не змінювалась. Важлива не лише кількість вологи у продукті, а й її доступність для розвитку мікроорганізмів, перебігу окислювальних, ферментативних та інших процесів. Тож для більш глибокого розуміння процесів, що відбуваються при зберіганні, визначали мікробіологічні показники виробів (табл. 2).

Таблиця 2. Мікробіологічні показники здобних сухарів

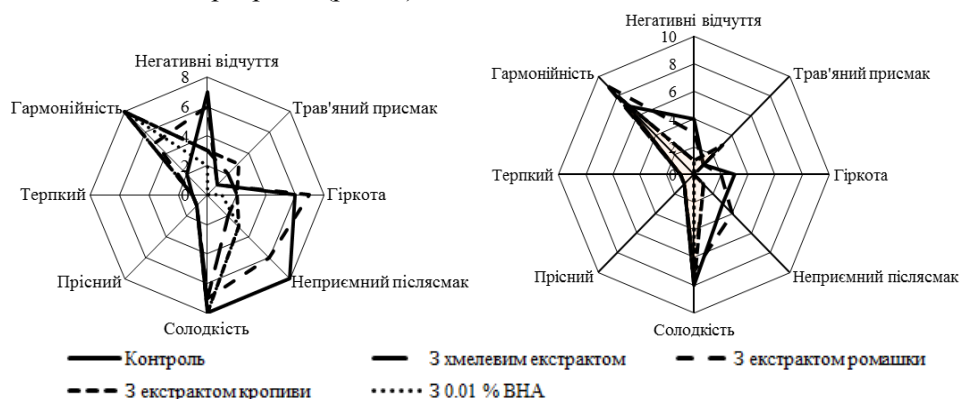
Зразок	КМАФАМ <sub>н</sub> , КУО/г	Salmonella spp./г, не більше	B. cereus, КУО/г	Сумарний вміст пліснявих грибів, КУО/г
<b>1-й день зберігання</b>				
Контроль	1×10 <sup>1</sup>	3	2	24×10 <sup>1</sup>
З хмелевим екстрактом	1×10 <sup>1</sup>	3	3	15×10 <sup>1</sup>
З екстрактом ромашки	1×10 <sup>1</sup>	4	5	23×10 <sup>1</sup>
З екстрактом кропиви	1×10 <sup>1</sup>	3	1	17×10 <sup>1</sup>
З 0,01% ВНА	1×10 <sup>1</sup>	5	8	19×10 <sup>1</sup>
<b>60-й день зберігання</b>				
Контроль	2×10 <sup>2</sup>	3	4×10 <sup>2</sup>	7×10 <sup>2</sup>
З хмелевим екстрактом	3×10 <sup>2</sup>	3	2×10 <sup>2</sup>	2×10 <sup>2</sup>
З екстрактом ромашки	8×10 <sup>2</sup>	4	5×10 <sup>2</sup>	3×10 <sup>2</sup>
З екстрактом кропиви	8×10 <sup>2</sup>	3	4×10 <sup>2</sup>	5×10 <sup>2</sup>
З 0,01% ВНА	2×10 <sup>2</sup>	5	2×10 <sup>2</sup>	8×10 <sup>2</sup>
<b>90-й день зберігання</b>				
Контроль	5×10 <sup>4</sup>	3	24×10 <sup>3</sup>	56×10 <sup>5</sup>
З хмелевим екстрактом	7×10 <sup>3</sup>	3	2×10 <sup>3</sup>	15×10 <sup>3</sup>
З екстрактом ромашки	4×10 <sup>4</sup>	4	37×10 <sup>3</sup>	43×10 <sup>4</sup>
З екстрактом кропиви	12×10 <sup>3</sup>	3	29×10 <sup>3</sup>	43×10 <sup>3</sup>
З 0,01% ВНА	2×10 <sup>4</sup>	5	4×10 <sup>3</sup>	45×10 <sup>4</sup>

Більш низька загальна контамінація мікроорганізмами протягом усього терміну зберігання свідчить про наявність активних речовин в екстрактах, що здатні пригнічувати розвиток небажаної мікрофлори. Найвищу ефективність показали екстракти хмелю і кропиви, тоді як екстракт ромашки був найменш ефективний. Отримані результати співвідносяться з висновками Z. Z. Kukric

та ін. [4], які довели, що екстракт кропиви містить речовини, здатні інгібувати різні грамнопозитивні та грамнегативні бактерії, включаючи *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum*, і *Escherichia coli*.

Дію хмелевих екстрактів можна пов'язати як з наявністю в хмелі гірких речовин, зокрема  $\alpha$ -кислот (гумулон, ізогумулон) і  $\beta$ -кислоти (лупулон), які проявляють сильну бактерицидну дію та здатні пригнічувати розвиток грамнопозитивних і грамнегативних бактерій, так і за рахунок окремих груп БАР, що переходять у відвари при екстрагуванні — органічних, фенолкарбонових кислот, антоціанідів і флаванолідів. Ефективним виявились екстракти у боротьбі з пліснявими грибами та *B. cereus*.

Псування жиру супроводжується появою специфічного запаху і неприємного смаку, викликаних утворенням низькомолекулярних карбонільних сполук. Згідно з оцінками за 10-бальною шкалою, експертами сенсорної панелі складено профілограму, яка характеризує органолептичні показники виробів за смаковими маркерами (рис. 3).



На 60 добу регламентованого терміну зберігання всі смакові профілі зразків мали високі якісні характеристики, зразок з екстрактом ромашки був відзначений як найбільш гармонійний за смаком. Зразки з додаванням екстракту з хмелю та кропиви були відмічені експертами як такі, що мали ледь помітний характерний для них присмак.

Після закінчення регламентованого терміну зберігання на 90-у добу тільки два зразки — контроль та зразок з екстрактом ромашки були негативно оцінені на 5...8 балів за показниками «гіркота», «неприємний запах», «неприємний післясмак», що закономірно співвідноситься з даними з визначення кислотного числа в цих виробках.

## Висновки

Отже, водні екстракти хмелю, кропиви та ромашки здатні забезпечити гальмування процесів псування ліпідної складової здобних сухарів. Перекисне число у зразках з хмелевим екстрактом через 90 днів зберігання було у 2 рази, а кислотне — у 2,5 рази меншим порівняно з контролем, синтетичний ВНА сприяв уповільненню негативних процесів більш ніж утричі. Виявлено

зменшення, порівняно з контролем, кислотного числа зразків з екстрактами кропиви і ромашки в діапазоні 38...85%. Для вирішення поставленого завдання найменш ефективним виявився екстракт ромашки. Отримані результати узгоджуються з визначеним вмістом в екстрактах поліфенольних речовин і флавоноїдів.

Встановлено, що застосування екстрактів сприяє менш інтенсивному накопиченню кислотореагуючих речовин і зниженню мікробіологічних показників виробів при забезпеченні їх високих органолептичних показників навіть на кінець регламентованого терміну зберігання. Так, на 60 добу регламентованого терміну зберігання всі смакові профілі зразків мали високі якісні характеристики, зразок з екстрактом ромашки був відзначений як найбільш гармонійний за смаком.

### Література

1. Banerjee R., Verma A. K., Siddiqui M. W. (ed.). *Natural Antioxidants: Applications in Foods of Animal Origin*. CRC Press, 2017.
2. Embuscado M. E. Spices and herbs: Natural sources of antioxidants—a mini review. *Journal of functional foods*. 2015. Т. 18. С. 811—819.
3. Galanakis C. M. et al. Control of microbial growth in bakery products fortified with polyphenols recovered from olive mill wastewater. *Environmental technology & innovation*. 2018. Т. 10. С. 1—15.
4. Kukrić Z. Z., Topalić-Trivunović L. N., Kukavica B. M., Matoš S. B., Pavičić S. S., Boroja M. M. & Savić A. V. (2012). Characterization of antioxidant and antimicrobial activities of nettle leaves (*Urtica dioica* L.). *Apoteff*, 43, 1—342.
5. Knez Hrnčič M., Španinger E., Košir I. J., Knez Ž. & Bren U. (2019). Hop Compounds: Extraction Techniques, Chemical Analyses, Antioxidative, Antimicrobial, and Anticarcinogenic Effects. *Nutrients*, 11(2), 257.
6. Lobo V. et al. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy reviews*. 2010. Т. 4. № 8. С. 118.
7. Makowska A. et al. Triticale crisp bread enriched with selected bioactive additives: volatile profile, physical characteristics, sensory and nutritional properties. *Journal of food science and technology*. 2017. Т. 54. № 10. С. 3092—3101.
8. Martelli G., Giacomini D. Antibacterial and antioxidant activities for natural and synthetic dual-active compounds. *European journal of medicinal chemistry*. 2018. Т. 158. С. 91—105.
9. Mut-Salud N., Alvarez P. J., Garrido J. M., Carrasco E., Aranega A., Rodríguez-Serrano F. Antioxidant intake and antitumor therapy: toward nutritional recommendations for optimal results. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2016(2016) 6719534.
10. Liu R., Xing L., Fu Q., Zhou G. H., Zhang W. G. A review of antioxidant peptides derived from meat muscle and by-products. *Antioxidants* 5(2016) 32.
11. Repetto M., Semprine J., Boveris A. Lipid peroxidation: chemical mechanism, biological implications and analytical determination. 2012. Т. 1. С. 3—30.
12. Лозова Т. М., Давидович О. Я. Дослідження впливу нетрадиційних рослинних добавок на збереження якості жирів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*. 2008. Т. 10. № 3—3(38).
13. Михайлов В. М. и др. Перспективи створення технологій оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів на основі нетрадиційної рослинної сировини. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 6. С. 167—173.
14. Сирохман І. В., Хлопко Т. В. Сучасні проблеми дослідження зберігання жирових продуктів. *Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча*. 2013. № 13. С. 8—10.
15. Юргачова К. Г., Лебеденко Т. С. Хлібобулочні вироби оздоровчого призначення з використанням фітодобавок [Текст]: монографія. Київ: К-Прес, 2015. 464 с.
16. Чекман І. С. Флавоноїди—клініко-фармакологічний аспект. *Фітотерапія в Україні*. 2000. № 2. С. 3—5.

УДК 664.8.036.523

ANALYSIS OF CAUSES AND MEASURES FOR THE PREVENTION OF *C. BOTULINUM* TOXINS IN CANNED PRODUCTS DURING THE ENTIRE PRODUCTION CYCLE

**E. Ivashchenko, L. Stoyanova**

*State Educational Institution "Odessa Institute of Postgraduate Education" of the National University of Food Technologies*

**O. Krasulya**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Food poisoning*  
*Pathogens*  
*C. botulinum*  
*Botulinum toxins*  
*Toxin formation*  
*Clostridia*  
*Mesophila.*

---

**Article history:**

Received 11.09.2019  
Received in revised form  
19.09.2019  
Accepted 11.10.2019

---

**Corresponding author:**

O. Krasulya

**E-mail:**

olena\_krasulya@ukr.net

**ABSTRACT**

---

The paper investigates and summarizes information on cases of botulinum poisoning, features of *C. botulinum* bacteria, methods of storage and processing of raw materials for food, which made it possible to identify the most dangerous products from the point of view of botulinum poisoning. Using the logic-analytical method, the analysis of domestic and foreign publications, own research, systematized and summarized the requirements for the sanitary status of production and the general principle of processing butulin-hazardous raw materials, characterized the impact of procedures of food safety management systems on improving the quality of products.

It is noted that the development, toxin formation of microorganisms are greatly influenced by physical, chemical and biological factors of the environment (temperature, humidity, presence of oxygen, pH of the medium, composition of its own microflora of the product, etc.) and the presence of nutrient medium. The main reasons for the production of hazardous products are the violation of the basic requirements for technological processes, namely temperature parameters, sanitary conditions of storage of raw materials, non-compliance with recipes, etc. In order to prevent food poisoning, the pathways and causes of *C. botulinum* development, as well as methods of inactivation of microorganisms and their toxins, have been studied in detail to work out basic measures to ensure food safety.

It is noted that the prevention of food spoilage is to regulate, slow down, eliminate or minimize the processes that cause the spoilage. Prevention of food poisoning of microbial nature, including *C. botulinum* toxins, is based on the complex application of organizational and technological measures inherent in each individual type of production and common sanitary and epidemiological measures aimed at preventing food contamination of products and the destruction of microorganisms in them.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-16

---

## **АНАЛІЗ ПРИЧИН І ЗАХОДІВ ЩОДО ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ ТОКСИНІВ *C. BOTULINUM* У КОНСЕРВОВАНИХ ПРОДУКТАХ ПРОТЯГОМ УСЬОГО ВИРОБНИЧОГО ЦИКЛУ**

**К. Ю. Іващенко, Л. О. Стоянова**

*Державний заклад освіти «Одеський інститут післядипломної освіти»  
Національного університету харчових технологій*

**О. О. Красуля**

*Національний університет харчових технологій*

*У статті досліджено та узагальнено інформацію про випадки ботулінічних отруєнь, особливості бактерій *C. botulinum*, способи зберігання та перероблення сировини на харчові продукти, що дало змогу виділити найбільш небезпечні, з точки зору ботулінічних отруєнь, продукти. Із застосуванням логіко-аналітичного методу проаналізовано вітчизняні та зарубіжні публікації, власні дослідження, систематизовано й узагальнено вимоги щодо санітарного стану виробництва та загального принципу обробки бутуліно-небезпечної сировини, охарактеризовано вплив процедур систем менеджменту безпеки харчових продуктів на підвищення якості продукції.*

*Відзначено, що на розвиток і токсиноутворення мікроорганізмів великий вплив мають фізичні, хімічні та біологічні фактори зовнішнього середовища (температура, вологість, наявність кисню, рН середовища, склад власної мікрофлори продукту тощо) та наявність поживного середовища. Основними причинами виробництва небезпечних продуктів є порушення вимог щодо ведення технологічних процесів (температурних параметрів, санітарних умов зберігання сировини, недотримання рецептур тощо). Для запобігання випадкам отруєння харчовими продуктами докладно вивчено шляхи потрапляння та причини розвитку в них *C. botulinum*, а також способи інактивації мікроорганізмів та їх токсинів для відпрацювання основних заходів для забезпечення безпеки продуктів харчування.*

*Відзначено, що запобігання псуванню харчових продуктів зводиться до регулювання, сповільнення, усунення чи мінімізації процесів, які є причинами псування. Профілактика харчових отруєнь мікробної природи, зокрема токсинами *C. botulinum*, ґрунтується на комплексному застосуванні організаційних і технологічних заходів, притаманних кожному окремому виду виробництва, і загальноприйнятних санітарно-епідеміологічних заходах, спрямованих одночасно на запобігання обсіменінню сировини, розмноженню збудників псування та харчових отруєнь у харчових продуктах і на знищення мікроорганізмів у них.*

**Ключові слова:** харчові отруєння, патогени, *C. botulinum*, ботулінічні токсини, токсиноутворення, клостридії, мезофіли.

**Постановка проблеми.** Наразі найбільш небезпечним патогеном, який викликає харчове отруєння і нерідко призводить до смерті людини, залишається *Clostridium botulinum*. Збудник ботулізму отримав свою видову назву від латинського «*botulus*» — ковбаса, оскільки вперше був виявлений в 1896 р. Ван Ерменгемом (Голландія) у ковбасі, яка стала причиною смертельного отруєння 34 людей [1; 2].

Збудник харчових отруєнь ботулінічної етіології *C. botulinum* — це великі паличкоподібні бактерії із закругленими кінцями розміром близько (0,3...1,3) · (3,4...8,6) мкм, у молодому віці рухливі, грамнегативні. Зі старінням культури стають грамваріабельними, втрачають рухливість. Мають протеолітичні і сахаролітичні властивості. Ростуть у діапазоні температур від 10 до 50°C, оптимальна температура — 30...40°C, але деякі штами можуть рости за 3...5°C. Оптимальні умови для розвитку і токсиноутворення створюються за рН 7,2...7,4. Культивують їх на казеїнових, м'ясних та інших середовищах. Ріст на рідкому середовищі Кітт-Тароцці супроводжується газоутворенням, помутнінням і випаданням осаду, при цьому з'являється запах масляної кислоти — згірлого масла, згодом бульйон просвітлюється. При глибинному посіві у тверді поживні середовища утворюють колонії у вигляді шматочків вати без оформленого центру. На глюкозокров'яному агарі дають неправильної форми колонії з ниткоподібними утвореннями [3; 4].

Ботулізм — це рідкісне, але найбільш важке харчове отруєння, причиною якого є токсин, що утворюється бактеріями *C. Botulinum*, з високою летальністю — від 20 до 70% випадків. Без специфічного лікування летальність досягає 85%.

Захворювання людини, зазвичай, пов'язують з інтоксикацією, яку викликають *C. Botulinum* типів А, В, Е, рідше F. Спалахи ботулізму типів А та В пов'язані з вживанням в їжу стерилізованих консервів, рідше пресервів (напівконсервів), а типом Е — зі споживанням солених, в'ялених рибних і м'ясних продуктів, які не піддавались температурному обробленню. Домінуючим серед типів збудників ботулізму є В, характерний для м'ясних виробів, друге місце посідає тип Е, третє та четверте місця поділяють між собою тип А та інші збудники, які виділялися з грибів, овочів та інших продуктів [2; 5].

Встановлено, що в США переважним типом *C. botulinum* є тип А (84% всіх випадків); в Європі — тип В; в країнах колишнього Радянського Союзу — типи А і В, меншою мірою — тип Е, що слід враховувати під час закупівлі відповідних протиботулінічних сироваток і лікування людей, які захворіли [6; 7].

У 2016 р. були зареєстровані 99 випадків харчових отруєнь, викликаних збудником ботулізму з кількістю постраждалих 119 осіб, 12 з яких померли. Так, тільки у вересні зареєстровано 12 випадків ботулізму з 15 постраждалими в 7 областях, 2 випадки закінчились смертю постраждалих. Причиною отруєнь стали домашнє консервоване тушковане м'ясо та овочеві консерви, в'ялена річкова риба.

З 2017 р. в пресі починає з'являтися все більше повідомлень щодо отруєнь ботулінічними токсинами від харчових продуктів. За цей рік було зареєстровано 112 випадків харчових отруєнь, викликаних збудником ботулізму, в результаті захворіло 132 людини, з яких померло 11. Причини захворювань наведені на рис. 1.

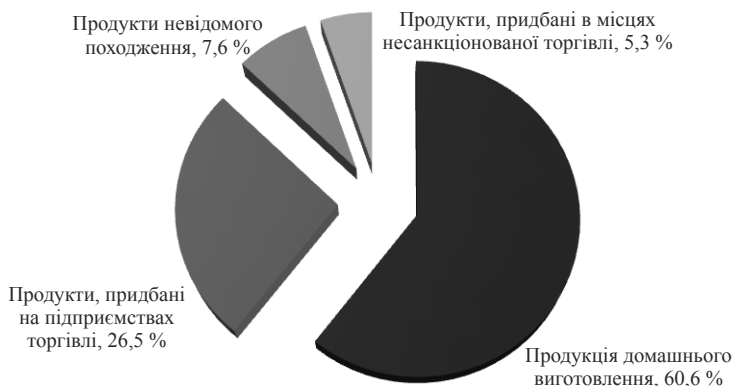


Рис. 1. Розподіл причин захворювань, викликаних збудником ботулізму

Станом на 11 вересня 2018 року зафіксовано 80 випадків ботулізму, в результаті яких постраждало 93 людини, 8 з них померли. Випадки отруєння в Сумській, Харківській, Полтавській областях пов'язані із вживанням в'яленої риби (лящ), придбаної в магазинах, куди вона потрапила з оптової бази; в Запоріжжі, Дніпрі, Херсоні, Києві — через вживання в'яленої та копченої риби власного виробництва. Захворюваність на ботулізм в Україні має чітко виражену сезонність. Підйом спостерігається в травні–червні [6].

Несприятлива ситуація, пов'язана зі спалахами захворювання на ботулізм, спостерігається не тільки в Україні, а й у світі в цілому. Регіонами, де має місце підвищення захворюваності на цю інфекцію, вважаються Аляска, Далекий Схід, Китай, Північна Америка, ряд країн Європи та Південної Америки. Щорічно у світі реєструється до 1000 випадків ботулізму, пов'язаних, в основному, зі споживанням продукції домашнього виготовлення [8—10].

**Мета дослідження:** визначення основних причин виникнення токсинів *C. botulinum* в консервованих продуктах протягом усього виробничого циклу та заходів щодо запобігання отруєнням, викликаними цими токсинами.

**Матеріали і методи.** В основу методології досліджень покладено логіко-аналітичний метод збору інформації про випадки отруєння ботулінічними токсинами, системний підхід до вивчення й узагальнення практичного досвіду вітчизняних і зарубіжних підприємств та організацій з дотримання правил гігієни та санітарії на підприємствах харчової промисловості, з аналізуванням впливу процедур систем менеджменту безпеки харчових продуктів на підвищення якості та безпеки продукції.

**Викладення основних результатів дослідження.** Ботулінічні токсини утворюються в клітинах в період експоненціальної фази розвитку, виділяючись у навколишнє середовище [4; 6; 8]. В продуктах харчування, особливо

густих або у великих шматках, мікроорганізми розвиваються і виділяють токсини локально, тому під час споживання зараженого продукту групою людей отруєння може настати не у всіх.

Найбільш небезпечними з точки зору отруєння токсинами *C. botulinum* вважають продукти, які з високою ймовірністю можуть бути забруднені цим мікроорганізмом, а під час зберігання в них утворюються анаеробні умови. Другий важливий фактор — це кислотність середовища, розвиток мікроорганізмів з утворенням токсинів можливий тільки у лужному або низькокислотному середовищі.

Розвитку й токсиноутворенню ботулізму в консервованих продуктах сприяє порушення технологічних норм і параметрів температурного оброблення (погано помита сировина, недотримання рецептурних закладок, неправильно обґрунтований або обраний режим температурного оброблення — стерилізації тощо).

Як в Україні, так і в інших країнах, на обґрунтування, перевірку та узаконення режимів стерилізації мають право тільки ліцензовані організації. При цьому кожна країна встановлює певні критерії для продуктів, які вважаються найбільш небезпечними джерелами мікробних отруєнь. Наприклад, у США та деяких європейських країнах нижній рівень рН продуктів, потенційно небезпечних з точки зору можливості ботулінічного токсиноутворення, встановлений на рівні рН більше 4,6 [10; 12; 13]. За нормативними документами України, це овочеві консерви з рівнем рН вище 4,2 (для маринованих огірків — 4,0), консерви з низькокислотних фруктів (абрикоси, персики тощо) з рН 3,8 та вище і м'ясні, рибні, грибні, молочні консерви з нерегульованою кислотністю.

Термостійкість спор *C. botulinum* залежить від кислотності — чим вищий рН, тим вища термостійкість спор. Найбільш термостійкі спори *C. botulinum* типу А і гнильних штамів типів В і F. Вони гинуть під час кип'ятіння протягом 5...6 год за температури вище 100°C. При вмісті в 1 см<sup>3</sup> нейтрального середовища 10<sup>12</sup> спор *C. Botulinum* типів А і В вони гинуть за 100°C протягом 330 хв; 105°C — 100 хв; 110°C — 32 хв; 115°C — 10 хв; 120°C — 4 хв; 121,1°C — 3 хв; 125°C — 1 хв [12; 15]. Режими температурного оброблення продукції повинні розроблятися з урахуванням термостійкості спор саме цих штамів.

Найчастіше псування харчових продуктів, консервованих у тому числі, і харчові отруєння ботулінічної етіології відбуваються у тих випадках, коли виробники не дотримуються науково обґрунтованих режимів температурного оброблення, застосовують «саморобні» режими стерилізації або взяті з технологічної документації на аналогічну продукцію, довільно змінюють режими при фасуванні продукції в іншу тару тощо. Режими стерилізації можуть виявитися недієвими також у випадках недотримання температурних режимів попередньої підготовки компонентів продуктів і температури фасування [14—18].

Під час розвитку клостридій ботулізму і токсиноутворення в продуктах з рН  $\geq 5,2$  їх зовнішній вигляд, зазвичай, змінюється: з'являється неприємний запах (частіше масляної кислоти — згірклого масла), порушується структура

тканин, утворюється газ і в герметично закритій тарі виникає бомбаж, іноді «хлопуші» чи банки з вібруючими кінцями. За більш високої кислотності продукту, навіть за рН від 4,2 до 4,8, а для консервованих огірків за рН > 4,0, розвиток і токсинування може відбуватися без видимих ознак псування. Це спостерігалось в консервах для дитячого харчування, томатному соку та інших консервах. Особливо небезпечно, що в консервах токсин зберігається протягом 6...8 місяців [2; 14].

Токсин ботулізму руйнується за теплового оброблення продукту. За даними досліджень термоінактивація токсину починається вже за 50°C. Найбільшу термостійкість ботулінічні токсини мають за рН 5,0...6,0. Також слід зауважити, що на термостійкість токсинів впливає хімічний склад продукту. Так, за концентрації сахарози від 43,5 до 87,0% токсини типів А і В витримують нагрівання за 100°C протягом 10 хв, за 80°C — до 40 хв. Але у більшості випадків для інактивації ботулінічного токсину достатньо нагрівання протягом 1...3 хв за 100°C або 20...30 хв за 80°C [15].

Під час санітарного оброблення на підприємстві необхідно враховувати, що спори *C. botulinum* стійкі до дії дезінфікуючих речовин і кислот: розчини з масовою часткою фенолу 5% і формаліну 40% руйнують спори протягом доби; розчин з масовою часткою соляної кислоти 10% — протягом години. Етиловий спирт не руйнує спори протягом багатоденної експозиції — до двох місяців. Тому для забезпечення належних гігієнічних умов виробництва важливо проводити своєчасний ремонт і прибирання виробничих цехів та якісне миття обладнання, інвентарю тощо.

Під час заморожування, висушування, маринування, посолу, копчення продуктів токсини *C. botulinum* не руйнуються і не втрачають активності. На прямому сонячному світлі токсин зберігається кілька годин і більше, на розсіяному світлі — кілька місяців, у захищеному від світла місці — кілька років. Тому рибну чи м'ясну сировину, яка навіть потенційно може містити токсин ботулізму через порушення часових і температурних параметрів зберігання, не можна використовувати для виробництва продуктів без високотемпературної обробки [2; 4; 15].

Враховуючи вищенаведене, найбільш небезпечними слід вважати низькокислотні консервовані продукти, виготовлені з порушенням санітарних умов і технологічних параметрів, а також нестерилізовані продукти, виготовлені з ботулінонебезпечної сировини, яка до переробки зберігалася з порушенням часових і температурних умов. Для гарантування мікробіологічної безпечності харчових продуктів дуже важливий постійний контроль, коригування параметрів процесу і регулярне дослідження мікробіологічного стану сировини, напівфабрикатів впродовж технологічного процесу і готової продукції.

Під час мікробіологічного контролю протягом усього технологічного циклу слід звертати увагу не лише на окремі види мікроорганізмів, але й на загальний рівень обсіменіння сировини чи готового продукту — кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ), адже їх підвищена кількість свідчить про порушення температурних режимів у процесі виготовлення або зберігання харчового продукту, незадовільний санітарний стан виробництва тощо. Крім того, «несанкціонований» розвиток

навіть корисних мікроорганізмів, наприклад молочнокислих, може сприяти розвитку й токсиноутворенню *C. botulinum* внаслідок синтезу ростових факторів і зниження окислювально-відновного потенціалу.

При контролюванні виробництва консервованої продукції для кожного виду консервів нормується залишкова мікрофлора певного складу, залежно від технології перероблення, параметрів температурного оброблення, способів консервування та умов зберігання.

При контролюванні процесу виробництва нестерилізованої м'ясної, рибної продукції увагу приділяють органолептичним показникам сировини, які опосередковано свідчать про стан мікрофлори, а також визначають за відбитками загальну кількість мікроорганізмів і ступінь руйнування м'язової тканини. Згідно з наказом МОЗ № 548 від 19.07.2012 «Про мікробіологічні критерії для встановлення показників безпечності харчових продуктів» для рибних продуктів, м'яса та м'ясних продуктів, нормованими показниками є кількість колоній МАФАНМ, БГКП (коліформи), *Enterobacteriaceae*, патогенних мікроорганізмів у тому числі роду *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* та коагулазопозитивних стафілококів, бактерій роду *Proteus*, *Staphylococcus aureus*, *V parahemolyticus* та сульфїтредукуючих клостридій [18].

Враховуючи всі перелічені факти, доцільно було б додати до переліку контрольованих мікробіологічних показників у сировині, напівфабрикатах і готових продуктах, потенційно небезпечних з точки зору зараження бактеріями або спорами *C. botulinum*, виявлення спор анаеробних мезофільних мікроорганізмів.

Для профілактики отруєнь ботулінічної етіології, крім основних, загальноприйнятних правил, необхідно суворо дотримуватись науково обґрунтованих технологічних параметрів, як наразі прийнято формулювати — кодексу ustalеної практики, а саме:

- суворе дотримання санітарних, часових і температурних умов транспортування і зберігання ботулінонебезпечної сировини до переробки;
- ретельне миття сировини з обов'язковим мікробіологічним контролем;
- суворе дотримання температурних режимів бланшування, розварювання, обсмажування тощо і своєчасного охолодження інгредієнтів;
- суворе дотримання температури фасування продукту перед температурним обробленням;
- обов'язковий мікробіологічний контроль консервів перед стерилізацією;
- застосування для температурного оброблення продукції тільки науково обґрунтованих режимів, недопущення довільної зміни режиму при коригуванні рецептур, зміні виду тари тощо;
- недопущення до виробництва нестерилізованої продукції (соленої, копченої, в'яленої тощо) сировини, термін та умови зберігання якої порушені і є підозра на токсиноутворення, контролювання наявності спор мезофільних анаеробних мікроорганізмів у сировині та готовій продукції.

### Висновки

Вперше проведено статистичний огляд випадків ботулінічних отруєнь в Україні, систематизовано й узагальнено вимоги щодо санітарного стану ви-

робництва та загального принципу обробки бутулінонебезпечної сировини, проаналізовано вплив процедур систем менеджменту безпечності харчових продуктів на підвищення якості продукції.

Сформульовано рекомендації для профілактики отруєнь ботулінічної етіології, для практичної реалізації яких мають бути чітко сплановані та прописані організаційні заходи, які повинні враховувати специфіку кожного окремого виробництва.

### Література

1. Дроздова Т. М. Санитария и гигиена питания: учебное пособие. Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2005. 108 с.
2. Персианова И. Н., Герасименко Л. Н., Стоянова Л. А. Микробиология консервирования и микробиологический контроль консервного производства / учеб. пособие / под общ. ред. Л. А. Стояновой. Одесса: Внешрекламсервис, 2011. 310 с.
3. Аністратенко Т. І., Білко Т. М., Благодарова О. В. та ін. Харчування з основами нутриціології: підручник у 2 кн. — кн. 1 / за ред. проф. В. І. Ципріяна. Київ: Медицина, 2007. 528 с.
4. Johnson E. A. Clostridium botulinum. *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*, edn 4. Edited by Doyle MP, Buchanan RL. ASM Press, 2013. P. 441—463.
5. Carter A. T., Peck M. W. Genomes, neurotoxins and biology of Clostridium botulinum Group I and Group II. *Research in Microbiology*. 2015. № 166, P. 303—317.
6. Ципріян В. І., Матасар І. Т., Слободкін В. І. та ін. Гігієна харчування з основами нутриціології: підручник, у 2 кн. — кн. 2 / за ред. проф. В. І. Ципріяна. Київ: Медицина, 2007. 544 с.
7. Всемирная организация здравоохранения. Ботулизм. Центр СМИ. Информационные бюллетени. Информационный бюллетень за октябрь 2017 г. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs270/ru/> (дата звернення 21.02.2018 р.).
8. Иванова М. А. Ботулизм: учеб.-метод. пособие. Минск : БГМУ, 2009. 24 с.
9. Максимчук М. М. Спалахова захворюваність на ботулізм в Україні та методи її профілактики: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.02.02. Київ, 2006. 25 с.
10. Peck M. W., Vliet van A. H. M. Impact of Clostridium botulinum genomic diversity on food safety. *Current Opinion in Food Science*. 2016, Vol. 10. P. 52—59.
11. Зінчук О. М., Прикуда Н. М., Задорожний А. М. Клініко-епідеміологічні особливості перебігу ботулізму в сучасних умовах. *Медицина транспорту України. Оригінальні дослідження*. 2015, № 2. С. 12—17.
12. Austin J. W. Clostridium: Occurrence and Detection of Clostridium botulinum and Botulinum Neurotoxin. *Encyclopedia of Food and Health*. 2016, P. 155—159.
13. Пилипенко Л. Н., Верхивкер Я. Г., Пилипенко И. В. Консервирование пищевых продуктов. Микробиология, энергетика, контроль: монографія. Одесса: ВМВ, 2015. 232 с.
14. Dahlsten E., Lindström M., Korkeala H. Mechanisms of food processing and storage-related stress tolerance in Clostridium botulinum. *Research in Microbiology*. 2015, Vol. 166, Is. 4. P. 344—352.
15. Стоянова Л. О., Іващенко К. Ю., Персианова І. П., Герасименко Л. М. Мікробіологічний контроль консервного виробництва: навч. посіб. Одеса: ОДАБА, 2017. 422 с.
16. СОУ 01.1-37-680:2007. Продукти харчові стерилізовані. Правила обґрунтування та розроблення режимів стерилізації та пастеризації. Київ: Мінагрополітики, 2007. 20 с.
17. СОУ 01.1-37-681:2007. Система технологічної документації. Порядок розроблення, погодження та затвердження режимів стерилізації і пастеризації консервів та консервованих напівфабрикатів. Київ: Мінагрополітики, 2007. 33 с.
18. ГОСТ 23392. Мясо. Методы химического и микроскопического анализа свежести. Издание официальное. Москва: Стандартинформ, 2017. 11 с.

УДК 637.238

JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF USE  
THE NATURAL FILLERS IN THE TECHNOLOGY  
OF BUTTER PASTES

**O. Kochubei-Lytvynenko, O. Yatsenko, N. Yushchenko, U. Kuzmyk, I. Mykoliv**  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Butters paste*  
*Dried crushed blueberries*  
*Phenolic compounds*  
*Anthocyanins*

---

**Article history:**

Received 06.09.2019  
Received in revised form  
19.09.2019  
Accepted 03.10.2019

---

**Corresponding author:**

O. Kochubei-Lytvynenko

**E-mail:**

nniht\_nuft@ukr.net

---

**ABSTRACT**

A promising direction for improving the technology of butter pastes is use of dried blueberries obtained by the method of sublimation drying, as a valuable source of a complex of biologically active substances. The use of dried crushed blueberries ensures the naturalness and nutritional value of the product, since drying is the optimal way to obtain long-term storage products with maximum preservation of their original quality, without the use of preservatives and food additives. It is proposed to use dried blueberries in crushed form with a particle size of  $0.7 \pm 0.2$  mm. Their use will increase the nutritional value and stability of butter pastes without the additional use of preservatives and food additives.

The method is substantiated and the technological parameters of preparation of dried crushed blueberries — after recovery on skim milk, the ratio of 1:7, the recovery temperature ( $40 \pm 5^\circ\text{C}$ ) and the duration of the process (10—15 minutes). The rational content of blueberries in butter paste was calculated in terms of dry matter, which is 3—5%.

It is established that with increasing temperature the degree of extraction of such biologically active substances as phenolic compounds (by gallic acid), flavonol glycosides (by routine), free catechins and tannin increases, and under certain parameters of preparation of dried crushed blueberries, their total content is ensured: phenolic compounds — 3346.6 mg/100 g, including routine — 2143.7 mg/100 g, catechin — 1208.2 mg/100 g, tannin — 912.2 mg/100 g and anthocyanins — 3128.6 mg/100 g.

According to the results of the research, it has been proved that the use of dried blueberries in the composition of butter pastes obtained by sublimation drying is expedient. Their introduction will enrich the product with a complex of biologically active substances, as well as give to butter pastes original taste and aroma and a pleasant lilac color.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-17

---

## ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ НАПОВНЮВАЧІВ У ТЕХНОЛОГІЇ МАСЛЯНИХ ПАСТ

О. В. Кочубей-Литвиненко, О. В. Яценко, Н. М. Ющенко,  
У. Г. Кузьмик, І. М. Миколів  
Національний університет харчових технологій

*Перспективним напрямом удосконалення технології масляних паст є використання сухих ягід чорниці, отриманих методом сублімаційного сушіння, як цінного джерела комплексу біологічно активних речовин. При використанні сухих подрібнених ягід чорниці забезпечується натуральність і харчова цінність продукту, оскільки саме сушіння є оптимальним способом одержання продуктів тривалого зберігання при максимальному збереженні їх вихідної якості. Запропоновано використання сухих ягід чорниці у подрібненому вигляді, розміром частинок  $0,7 \pm 0,2$  мм. Їх використання дасть змогу підвищити харчову цінність і стабільність масляних паст без додаткового використання консервантів та харчових добавок.*

*Обґрунтовано технологічні параметри підготовки та введення до складу масляних паст сухих ягід чорниці, отриманих сублімаційним сушінням. Визначено технологічні параметри підготовки сухих подрібнених ягід чорниці після відновлення на знежиреному молоці: співвідношення 1:7, температура відновлення ( $40 \pm 5^\circ\text{C}$ ), тривалість процесу (10—15 хв), а також раціональний вміст чорниці в масляній пасті в перерахунку на суху речовину, що становить 3—5%.*

*Встановлено, що з підвищенням температури ступінь вилучення таких біологічно активних речовин, як фенольні сполуки (за галовою кислотою), флавонолові глікозиди (за рутином), вільні катехіни та танін зростає і за визначених параметрів підготовки сухих подрібнених ягід чорниці забезпечується їх максимальне вилучення: загальний вміст фенольних сполук — 3346,6 мг/100 г, у тому числі рутину — 2143,7 мг/100 г, катехіну — 1208,2 мг/100 г, таніну — 912,2 мг/100 г, антоціанів — 3128,6 мг/100 г.*

*За результатами досліджень доведено доцільність використання у складі масляних паст сухих ягід чорниці, отриманих сублімаційним сушінням. Їх введення збагатить продукт комплексом біологічно активних речовин, а також надасть масляним пастам оригінального смаку й аромату та приємного бузкового кольору.*

**Ключові слова:** масляні пасты, сухі подрібнені ягоди чорниці, фенольні сполуки, антоціани.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції виробництва молочних продуктів полягають у розширенні асортименту та удосконаленні існуючих технологій шляхом залучення натуральної рослинної сировини. Головними критеріями

удосконалення є конкурентоспроможність продукції, що полягає у забезпеченні високої якості, підвищенні біологічної цінності та подовженні термінів зберігання.

Відомо, що овочева та фруктова сировина характеризується високим вмістом поживних речовин, які виявляють функціональні властивості. Сухі порошки, виготовлені на основі ягід, фруктів та овочів, можна зберігати й використовувати як швидко відновлювальні харчові продукти або смакові наповнювачі з органолептичними властивостями, притаманними вихідній сировині. За рахунок них можна збагатити раціон харчування споживачів новими продуктами оздоровчої дії завдяки клітковині, пектиновим речовинам, які виконують антиоксидантні функції в організмі людини [1; 2]. Сушіння є найбільш раціональним способом консервування, оскільки в сушених продуктах сповільнюються мікробіологічні процеси, а склад поживних і біологічно цінних речовин залишається близьким до природного [3].

Відомі різні способи сушіння рослинної сировини: сонячно-повітряне (природне), штучне в сушарках, сублімацією, інфрачервоним випромінюванням тощо, кожен з яких має свої переваги та недоліки [3; 4].

Нині найбільш досконалим та ефективним методом сушіння є сублімаційне сушіння. Сублімація — процес сушіння, що характеризується фазовим переходом льоду в пару при значеннях тиску й температури, що лежать нижче за потрібну точку [5; 6].

Процес сублімаційного сушіння продуктів фізично складається з двох основних етапів — заморожування та сушіння продукту. Перший етап — це заморожування продукту за низьких температур. Другий етап — сублімування, видалення льоду або кристалів розчинника при дуже низькій температурі, тобто безпосередньо сушіння продукту. При цьому значний вплив на якість сухого продукту і на час, потрібний для сушіння, має етап заморожування [5; 7].

До основних переваг сублімаційного сушіння, що робить його промислове застосування перспективним, належать такі: біологічні та фізико-хімічні зміни в продукті мінімальні, оскільки процес відбувається при низьких температурах; продукти сублімаційного сушіння можуть тривалий час зберігатися у відповідній упаковці при плюсовій температурі, тобто виключається необхідність холодильного зберігання; продукти легко поглинають при відновленні вологу (можуть відновлюватися навіть у холодній воді); зберігають первинні властивості, колір, смак, запах; смакові якості продуктів майже не змінюються; значно зменшується маса продуктів після сушіння, отже, знижуються витрати на вантажно-розвантажувальні роботи і транспортування; консервування харчових продуктів методом сублімації дає змогу зберегти їхню поживну цінність [5].

Чорницю (*Vaccinium myrtillus L*) використовують у харчовій промисловості для виробництва сиропів, соків, морсів, варення, джемів, наповнювачів, харчових барвників. Плоди чорниці містять до 30% вуглеводів (глюкозу, сахарозу, фруктозу, пектини), 0,9—1,3% органічних кислот (лимонну, молочну,

яблучну, янтарну, шавлеву), флавоноїди (гіперин, кверцетин, астрагалін), антоціани (дельфінідин, мальвідин, ідаїн), феноли, мінеральні речовини макро- та мікроелементи (ферум, манган, селен, кобальт, купрум, аурум, аргентум, цинк тощо). З вітамінів у ній виявлено каротин 0,8—1,6 мг/100 г, аскорбінову кислоту до 6 мг/100 г, вітаміни В1 та В2 — 0,04—0,08 мг/100 г, РР — 2,1 мг/100 г [8].

Плоди чорниці містять багато дубильних речовин і флавоноїдів. Флавоноли і флавоноли є дуже поширеними у рослинах, багато з них володіють бактерицидною дією. Найбільш поширеними в рослинній сировині є кверцетин та його глікозид рутин. Поліфенольні сполуки виявляють антивірусну та протизапальну активність. Заслуговують на увагу такі компоненти фенольного комплексу, як антоціани, ароматичні кислоти, стильбени, хлорофіли, каротиноїди [9].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Огляд останніх наукових публікацій показав, що за допомогою комплексної переробки чорниці можна одержати ряд продуктів — сік, порошок та пасту з вичавок. Отримані продукти можуть бути використані при виробництві кондитерських, хлібобулочних, кисломолочних виробів і харчоконцентратів [10].

Для розширення асортименту безалкогольних напоїв запропоновано використовувати дикорослу ягідну сировину — чорницю. Екстракти подрібнених листочків (порошку) чорниці — джерело біодоступних активних сполук (фенольних компонентів, кумаринів, аскорбінової кислоти), які через свою рослинну природу м'яко діють на організм та не викликають побічної дії, до того ж екстракт листочків — нетрадиційна сировина, до цих пір у виробництві напоїв не використовувалась [11].

При використанні сухих подрібнених ягід чорниці забезпечується натуральність й харчова цінність продукту, оскільки саме сушіння є оптимальним способом одержання продуктів тривалого зберігання при максимальному збереженні їх вихідної якості, без використання консервантів і харчових добавок [12; 13].

**Мета дослідження:** обґрунтування технологічних параметрів підготовки та введення до складу масляних паст сухої чорниці, отриманої сублимаційним сушінням.

**Матеріали і методи.** Дослідження здійснювали в межах науково-дослідної роботи (НДР) «Наукові засади розроблення ресурсоощадних технологій білокрмісних поліфункціональних концентратів для харчових продуктів цільового призначення» (№ держреєстрації 0117U001243), Україна.

Як смаковий наповнювач використовували сухі ягоди чорниці (*Vaccinium myrtillus L.*) сублимаційного сушіння. Активну кислотність визначали потенціометрично за ДСТУ 8550:2015; вміст сухих речовин (СР) після відновлення на знежиреному молоці — рефрактометричним методом за ДСТУ 8552:2015; органолептичні дослідження здійснювались за ДСТУ ISO 6658:2005.

Загальний вміст фенольних сполук визначали за допомогою електрофотокolorиметра КФК-2МП за довжини хвилі 640 нм із застосуванням

реактиву Фоліна-Чокальтеу, що складається з суміші фосфорно-вольфрамової й фосфорно-молібденової кислот, які відновлюються під час окиснення фенолів до суміші оксидів. При цьому утворюється блакитне забарвлення, інтенсивність якого пропорційна до кількості фенольних речовин.

Кількість фенольних сполук визначали за допомогою калібрувального графіка, побудованого за стандартними розчинами галлової кислоти [14].

Визначення вмісту таніну, рутину, катехіну здійснювали методом титрування суміші розчином  $\text{KMnO}_4$  концентрацією 0,1 моль / дм<sup>3</sup>. Закінчення титрування встановлювали за появою у розчині золотисто-жовтого відтінку. Результат множили на перерахунковий коефіцієнт (для переведення 0,1 мм. розчину  $\text{KMnO}_4$  в 1 мг фенольних сполук, що містяться у 10 см<sup>3</sup> взятого на титрування екстракту). Для таніну перерахунковий коефіцієнт дорівнює 4,16, для рутину — 9,8, для катехіну — 5,5 [14].

Визначення вмісту антоціанів у сухих подрібнених ягодах чорниці визначали за допомогою електрофотокolorиметра КФК-2МП за довжини хвилі 530 нм. Покази оптичної густини множили на перерахунковий коефіцієнт ( $K=1056,7$ ) і отримували вміст забарвлюючих речовин. Попередній коефіцієнт було встановлено за кристалічним моноглікозидом мальвідину [15].

Визначення кольоровості здійснювали за допомогою електрофотокolorиметра КФК-2МП за довжини хвилі 560 нм. Кольоровість (Кл) в одиницях оптичної густини обчислювали за формулою:

$$\text{Кл} = (10 \cdot D_{560}) / (C \cdot d \cdot b),$$

де  $D_{560}$  — величина оптичної густини розчину, яку виміряли приладом за довжини хвилі 560 нм, од. опт. густ.;  $C$  — масова частка сухих речовин у розчині, %;  $d$  — густина розчину, г/см<sup>3</sup>;  $b$  — довжина кювети, см [15].

**Викладення основних результатів дослідження.** Досліджено дисперсний склад сухих подрібнених ягід чорниці, що становить 0,7±0,2 мм. Активна кислотність 5-відсоткової водної суспензії подрібненої сухої чорниці становила 3,0 од. рН.

Поеднуваність чорниці з жирною основою (масляна паста масовою часткою жиру 40%) визначили шляхом її введення у сухому вигляді в кількості від 1 до 5% з інтервалом у 1%. За результатами органолептичної оцінки модельних зразків встановлено, що введення сухих подрібнених ягід чорниці надало зразкам приємного смаку та аромату при кількості введення від 3 до 5%. Однак колір модельних зразків був нерівномірний, з вкрапленнями сірого, що погіршувало їхній зовнішній вигляд. Крім того, під час визначення органолептичних показників тактильно відчувались тверді частинки подрібнених ягід чорниці. Тому було вирішено сухі подрібнені ягоди чорниці вводити до масляних паст після гідратації на знежиреному молоці. З метою визначення раціонального співвідношення між сухою чорницею та знежиреним молоком були приготовлені модельні зразки у співвідношенні від 1:1 до 1:9 з інтервалом у 2. Варто зазначити, що оптимальною температурою відновлення фруктово-ягідних порошоків є температура 40±5°C [16]. Сухі подрібнені ягоди чорниці при безперервному перемішуванні додавали

до знежиреного молока, підігрітого до температури 35...40°C (масу визначали із розрахунку отримання суміші загальною масою 100 г).

За результатами проведеного дослідження визначено раціональне співвідношення між сухими подрібненими ягодами чорниці та знежиреним молоком, що становить 1:7. За такого співвідношення консистенція суміші залишається однорідною, колір вираженим, кількість знежиреного молока є достатньою для максимального вилучення сухих речовин чорниці.

Для встановлення раціональної кількості введення наповнювача до масляної пасти побудовано профілографу органолептичних показників (рис. 1). Органолептичну характеристику модельних зразків проводили за 5-бальною шкалою кожного дескриптора.



**Рис. 1. Профілограма органолептичних показників модельних зразків масляної пасти за змінної кількості сухих подрібнених ягід чорниці**

У результаті аналізу отриманих даних встановлено, що раціональною кількістю введення наповнювача до масляної пасти є 3—5%. За такої кількості введення буде забезпечуватись раціональне використання сировинних ресурсів.

На наступному етапі було досліджено вплив температури в діапазоні від 20 до 50°C з інтервалом у 10°C на вилучення біологічно активних речовин (БАР) з сухих подрібнених ягід чорниці. Підвищення температури вище 50°C не є доцільним, оскільки може спричинити втрати БАР ягід чорниці. Отримані дані наведено у таблиці.

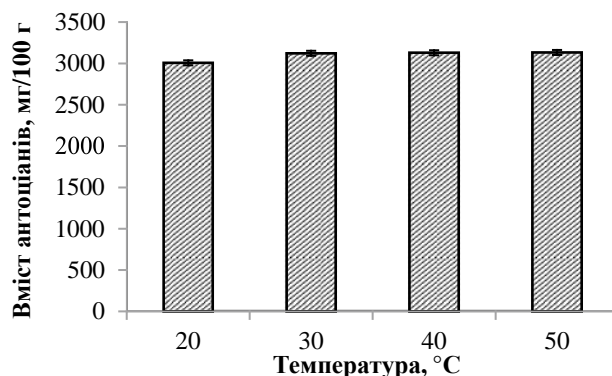
Встановлено, що з підвищенням температури ступінь вилучення таких БАР, як фенольні сполуки (за галовою кислотою), флавонолові глікозиди (за рутином), вільні катехіни й танін зростає. За даними таблиці при підвищенні температури від (20±2°C) до (50±5°C) вміст БАР у водній фазі суспензії в середньому підвищився на 5%. Колір суспензії стає насиченим бузковим внаслідок переходу антоціанів із внутрішніх шарів частинок висушеної подрібненої чорниці у водну фазу. Встановлено, що ступінь вилучення сухих речовин також зростає при підвищенні температури гідратації у середньому на 2,0±0,3%.

*Таблиця. Вплив температури відновлення сухих подрібнених ягід чорниці на вміст БАР (n=3, P≥0,95)*

Температура, °C	Загальний вміст фенольних сполук, мг/100 г	Вміст, мг/100 г			Вміст СР, %
		рутину	таніну	катехіну	
20±2	3206,2±160	2107,0±105	894,2±44	1183,0±59	5,0±0,2
30±5	3300,8±165	2111,2±105	896,2±44	1198,2±59	5,0±0,2
40±5	3346,6±167	2143,7±107	912,2±45	1208,2±60	7,0±0,3
50±5	3352,4±167	2156,2±107	922,6±46	1212,6±60	7,0±0,3

Отже, введення сухих подрібнених ягід чорниці до масляних паст слугуватиме джерелом БАР із Р-вітамінною активністю й таніну, що прогнозовано будуть уповільнювати перетворення складових масляних паст під час зберігання.

Відомо, що ягоди чорниці містять у своєму складі антоціани, які обумовлюють яскравий колір і проявляють корисні властивості. Їхня кількість і стійкість формуватиме привабливі органолептичні характеристики готового продукту. Тому було досліджено вплив температури на вміст антоціанів та на інтенсивність забарвлення гідратованого порошку ягід чорниці (рис. 2).



**Рис. 2. Вплив температури відновлення на вміст антоціанів у суспензії «сухі подрібнені ягоди чорниці–знежирене молоко»**

Встановлено, що з підвищенням температури до 50°C вміст антоціанів зростає на 7% і суспензія «сухі подрібнені ягоди чорниці–знежирене молоко» набуває насиченого кольору.

Колір не тільки стає більш насиченим за підвищення температури гідратації й тривалості витримки, але й залишається стійким за активної кислотності 3,0 од. рН. Результати дослідження щодо зміни кольоровості залежно від температури й тривалості відновлення представлено на рис. 3. Як видно з отриманих даних, відновлення порошку чорниці краще проводити за температури 40±5°C з тривалістю 10—15 хв. Тривалість витримки під час гідратації протягом 30 хв несуттєво змінює цей показник всього на 0,1 од. опт. густини.

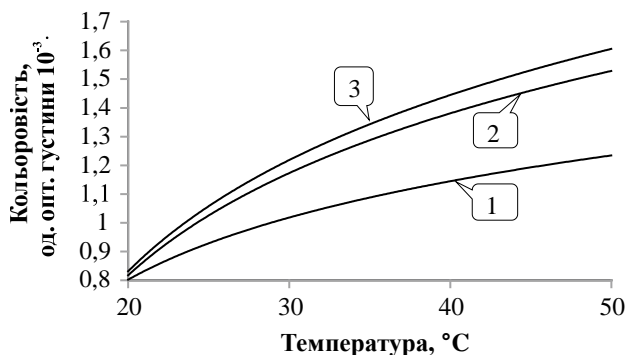


Рис. 3. Вплив температури й тривалості витримки на показник кольоровості суспензії «сухі подрібнені ягоди чорниці– знежирене молоко»: 1 — без витримки; 2 — витримка 15 хв; 3 — витримка 30 хв

### Висновки

За результатами досліджень доведено доцільність використання у складі масляних паст сухих ягід чорниці, отриманих сублімаційним сушінням. Їх введення дасть змогу збагатити продукт комплексом біологічно активних речовин, а також надати масляним пастам оригінального смаку й аромату та приємного бузкового кольору.

Обґрунтовано спосіб та визначено технологічні параметри підготовки порошку чорниці — у гідратованому на основі знежиреного молока вигляді (співвідношення 1:7). Визначено раціональний вміст порошку чорниці в масляній пасті (3—5%) та режими його підготовки за температури (40±5°C) і тривалості процесу (10—15 хв).

Визначено вплив технологічних режимів гідратації сухих подрібнених ягід чорниці на вміст БАР і показник кольоровості отриманої суспензії. Встановлено, що за визначених параметрів підготовки забезпечується максимальне вилучення БАР: загальний вміст фенольних сполук — 3346,6 мг/100 г, у тому числі рутину — 2143,7 мг/100 г, катехіну — 1208,2 мг/100 г, таніну — 912,2 мг/100 г, антоціанів — 3128,6 мг/100 г.

### Література

1. Турчина Т. Фізико-хімічний склад і структуруюча здатність рослинних матеріалів розпилювального сушіння. *Харчова і переробна промисловість*. 2008. 5. С. 17—19.
2. Румянцева Г. Н. Влияние микробных ферментов на процесс получения пищевых волокон из растительного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2007. 8. С. 48.
3. Бичков Я. М. Способы получения сухих порошков з рослинної сировини. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. 46. С. 204—208.
4. Антипов С. Т. Тепло- и массообмен при конвективной сушке в движущемся слое продукта. *Модернизация существующего и разработка новых видов оборудования для пищевой промышленности: Сб. науч. тр.* 2003. 13. С. 6—9.
5. Хуссейн Мохамед Маграбие Слама. Совершенствование процесса замораживания в технологии вакуум-сублимационной сушки пищевых продуктов с использованием низкотемпературного воздуха от турбохолодильной машины: дис. ...канд. техн. наук: 05.04.03 / Хуссейн Мохамед Маграбие Слама. Москва, 2011. 203 с.

6. Информационный портал «Пишевик». Новые виды фруктово-ягодного и овощного сырья, их использование в производстве кондитерских изделий» [Электронный ресурс]. Режим доступа: \www/ URL: [http://mppnik.ru/publ/novye\\_vidy\\_fruktovo\\_jagodnogo\\_i\\_ovo-shhnogo\\_syrga\\_ikh\\_ispolzovanie\\_v\\_proizvodstve\\_konditerskikh\\_izdelij/1-1-0-151](http://mppnik.ru/publ/novye_vidy_fruktovo_jagodnogo_i_ovo-shhnogo_syrga_ikh_ispolzovanie_v_proizvodstve_konditerskikh_izdelij/1-1-0-151).
7. Тарасенко Т. А. та ін. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2015. 17, 4. С. 148—158.
8. Кошова В. М. Нові аспекти використання нетрадиційної сировини. *Харчова промисловість*. 2008. 6. С. 57—59.
9. Ignat Ioana. A critical review of methods for characterization of polyphenolic. *Food Chem*. 2011. Vol. 126, 4. P. 1821—1835.
10. Торопєць І. Використання чорниці при виробництві функціональних продуктів. Матеріали 85 Ювілейної Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», присвяченої 135-річчю Національного університету харчових технологій, 11—12 квітня 2019 р. К.: НУХТ, 2019. Ч. 1. С. 309.
11. Романова З. М., Косоголова Л. О., Арутюнян Т. В. Особливості технології безалкогольних напоїв з використанням дикорослої ягідної сировини. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2015. 1. С. 85—91.
12. Назаренко В. О., Юдічева О. П., Жук В. А. Формування якості товарів. К.: ЦУЛ, 2012. 386 с.
13. Сушеные плоды и овощи [Электронный ресурс]. Режим доступа: \www/ URL: [http://www.znaytovar.ru/s/Sushenye\\_plody\\_i\\_ovoshhi.html](http://www.znaytovar.ru/s/Sushenye_plody_i_ovoshhi.html).
14. Кузьмик У. Г., Ющенко Н. М., Пасічний В. М., Миколів І. М. Визначення вмісту біологічно активних речовин в розроблених композиціях прянощів. *Наукові праці НУХТ*. 2017. Том 23, Ч. 2. С. 90—93.
15. Ющенко Н. М., Кузьмик У. Г., Миколів І. М. Використання прянощів як джерела антоціанів. *Харчова промисловість*. 2018. 23. С. 27—31.
16. Вашека О. М. Технологія збагачення вершкового масла порошком із моркви: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. НУХТ. К., 2013. 22 с.

DETERMINATION OF IODINE CONTENT IN LAMINARIA  
AND ENRICHED BERRY SAUCE

**G. Deinychenko, T. Lystopad**

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

**A. Vishnikin, A.-E. Tamen**

*Oles Honchar Dnipro National University*

---

**Key words:**

*Berry sauce*

*Algae raw material*

*Iodine*

*Microextraction*

*Extraction-spectrophotometric method*

---

**Article history:**

Received 19.09.2019

Received in revised form  
30.09.2019

Accepted 15.10.2019

---

**Corresponding author:**

T. Lystopad

**E-mail:**

lystopad.tamara.88@gmail.com

---

**ABSTRACT**

---

There was developed a technology of berry sauces using algae raw material as iodine-enrichment component. Considering the fact that the content of iodine in algae raw materials depends on a large number of factors, it is urgent to determine the content of iodine, both in algae raw materials and in the finished product. The subjects of the study were algae *Laminaria Digitata*, blueberry-cranberry sauce with viburnum juice with iodine-containing additive and control samples. Available standardized methods, most commonly used in research, have a number of disadvantages, in particular, the large volume of organic solvent used in a single assay, which significantly reduces the sensitivity of determination and does not meet current principles of “green chemistry”.

A method for the determination of iodine in algae raw materials was developed, in which the use of organic solvent was minimized — the proposed method uses 1 ml of organic solvent instead of 10 ml, which are offered by the standard. In addition, the sensitivity of the developed methodology is two orders of magnitude higher than standard. According to this method, it was found that the content of iodine in kelp algae ranges from 0.232 to 0.272%, which agrees well with the literature. Mathematical calculations show that the use of up to 100 g of the developed sauce using these algae will satisfy the daily requirement of man for iodine.

Studies have been performed that confirmed the calculated data. Determination of iodine content in sauces was carried out according to the existing methodological guidelines, with the introduction of a number of modifications in the method, which is related to the individual characteristics of the sample. However, this technique is too time consuming, has a number of disadvantages already mentioned above. Therefore, it is further proposed to establish the possibility of using the developed methodology for algae raw materials as a technique for the analysis of sauces.

## ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЙОДУ В ЛАМІНАРІЇ ТА ЗБАГАЧЕНОМУ НЕЮ ЯГІДНОМУ СОУСІ

Г. В. Дейниченко, Т. С. Листопад

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

А. Б. Вишнікін, А.-Е. Тамен

*Дніпровський національний університет ім. О. Гончара*

*У статті розроблено технології ягідних соусів з використанням водоростевої сировини як йодозбагачувального компонента. Зважаючи на той факт, що вміст йоду у водоростевій сировині залежить від значної кількості факторів, актуальним є питання встановлення вмісту йоду як у водоростевій сировині, так і в готовому продукті. Об'єкти дослідження — водорість ламінарії, чорнично-журавлиний соус із соком калини з ламінарією та контрольні зразки. Доступні стандартизовані методи, що найбільш часто використовуються при дослідженнях, мають ряд недоліків, зокрема використання великого обсягу органічного розчинника, який використовується в одному аналізі, що значно зменшує чутливість визначення і не відповідає сучасним принципам «зеленої хімії».*

*Розроблено мікроекстракційно-спектрофотометричну методику визначення йоду у водоростевій сировині, при якій використання органічного розчинника було зведено до мінімуму — запропонований спосіб використовує 1 мл органічного розчинника замість 10 мл, які запропоновані за стандартом. Крім того, чутливість розробленої методики на два порядки більша, ніж стандартної. За цією методикою встановлено, що вміст йоду у водоростях ламінарії коливається в межах від 0,232% до 0,272%, що добре узгоджується з літературними даними. Розрахункові дослідження свідчать, що вживання до 100 г розробленого соусу з використанням зазначених водоростей дасть змогу задовольнити добову потребу людини в йоді.*

*Проведено дослідження, що підтверджують розрахункові дані. Визначення вмісту йоду в соусах проводилось за існуючими методичними рекомендаціями з введенням у методику виконання ряду модифікацій, що пов'язано з особливостями зразка. Однак ця методика занадто трудомістка та має ряд недоліків, тому в подальшому запропоновано встановити можливість використання розробленої мікроекстракційно-спектрофотометричної методики для водоростевої сировини як методики для аналізу соусів.*

**Ключові слова:** *ягідний соус, водоростева сировина, йод, мікроекстракція, мікроекстракційно-спектрофотометричний метод.*

**Постановка проблеми.** Одним із найбільш вагомих факторів, що негативно впливає на стан здоров'я людей, є незбалансований харчовий раціон, який на тлі екологічних проблем може стати причиною виникнення доволі серйозних порушень у роботі організму людини. Йододефіцит займає місце в першій десятці наслідків незбалансованого харчування [1].

Йод бере участь у будові гормонів щитоподібної залози (тироксину, трийодтирозину) і є їх незамінним компонентом [2]. Брак йоду в харчових раціонах призводить до стократної вразливості до радіаційно-індукційних захворювань щитоподібної залози, що є вкрай небезпечним в умовах радіоактивної забрудненості, що нині спостерігається на значних територіях [3—4].

За даними світової статистики, в усьому світі близько 740 млн людей страждають від йододефіцитних розладів, крім того, за різними оцінками, понад 2 млрд піддаються ризику їх розвитку. Україна належить до країн, де ризик йододефіцитних захворювань дуже високий. 80% українських дітей мають ризик захворіти внаслідок йододефіциту [5].

Дефіцит йоду — найбільш розповсюджена, за даними світової статистики, причина враження головного мозку й психічних розладів та єдина, якій можна запобігти [6]. Хоча кретинізм — найбільш крайнє вираження дефіциту йоду, став дуже рідкісним і навіть зник у Європі, значно більшу стурбованість викликають більш тонкі ступені розумових розладів, пов'язаних із йододефіцитом, які призводять до поганої успішності в школі, зниження інтелектуальних здібностей і порушення працездатності. У суспільних групах з дефіцитом йоду може втрачатися від 10 до 15 балів IQ порівняно з аналогічними, але не йододефіцитними групами населення.

ЮНІСЕФ та ВООЗ рекомендують такі норми вживання йоду на добу: 90 мкг для вікової групи до 5 років, 120 мкг для вікової групи 6—12 років, 150 мкг для підлітків і дорослих, 250 мкг для жінок під час вагітності і лактації [7; 8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробкою шляхів вирішення проблеми браку йоду в харчуванні людей займалась значна кількість вітчизняних і зарубіжних науковців, зокрема Т. П. Ахмедова, Г. А. Герасимов, В. Н. Корзун, М. І. Пересічний, С. Ю. Сухиніна, М. Д. Тронько, В. В. Шахтарін, F. J. Varba, B. S. Hetzel, V. Mannar, B. Moinier, B. Karanfilski та інші. Найбільш вивченим і широко вживаним варіантом є введення до харчових раціонів йодованої кухонної солі. Проте інші варіанти збільшення споживання йоду стануть все більш важливими протягом найближчих кількох років у результаті прийнятої багатьма країнами політики зменшення споживання солі до 5 г на добу для запобігання гіпертонії та серцево-судинних захворювань. Це потенційно спричиняє суперечність між двома основними цілями: зниження середнього споживання кухонної солі населенням і боротьба з дефіцитом йоду через йодування солі [5; 9].

Натепер існують варіанти йодування таких продуктів, як хліб, молоко, плавлені сири, олія тощо. Однак вони мають ряд недоліків. Наприклад, йодування хлібу виявило свою ефективність лише в регіонах з помірним і легким дефіцитом йоду, вживання йодованих молочних продуктів не може бути рекомендоване людям, що мають неперетравлюваність молочних білків [10—13].

Крім того, необхідно звернути увагу на те, що більшість запропонованих варіантів йодування продуктів відбувається шляхом додавання неорганічного йоду. Як показують численні дослідження, найважливішим недоліком засто-

сування неорганічних сполук йоду є те, що організм не бере участь у регулюванні надходження цих сполук у щитовидну залозу. В цьому випадку надмірне надходження йодидів обумовлює високий ступінь йодування тиреоглобуліна, що спричиняє токсичну дію на епітеліальні клітини та ушкоджує їх. На відміну від неорганічних сполук, органічні сполуки йоду всмоктуються в кількостях, що є необхідними, а їх надлишок, за участю гормонів печінки, виводиться з організму [1].

Аналітичний огляд літератури дав змогу виявити, що найбільша кількість органічного йоду міститься в гідробіонтах, лідерами серед яких є їстівні бурі морські водорості. Відомо, що в них до 95% йоду знаходиться у вигляді органічних сполук, крім того, загальний його вміст може сягати сотень міліграмів на один грам водорості [14; 15].

Зважаючи на той факт, що вживання декількох грамів водоростей здатне задовольнити добову потребу людини в такому мікронутрієнті, як йод, їх можна використовувати як харчові добавки для йодування харчових продуктів.

Авторами цієї статті були розроблені технології ягідних соусів з використанням водоростевої сировини як йодвміщуючої добавки [16; 17]. Запропоновані технології дають змогу отримати соуси зі зменшеним вмістом насичених вуглеводів за рахунок відсутності у складі крохмалю та використання зменшеної кількості цукру білого та розширити асортимент продукції, що виробляється закладами ресторанного господарства та випускається харчовою промисловістю. Але, що найголовніше, реалізація цих технологій дасть змогу отримувати біологічно цінний продукт з підвищеною харчовою цінністю завдяки значному вмісту в ньому флавоноїдів та органічного йоду.

Під час оцінки харчової та біологічної цінності збагачених продуктів, важливо враховувати вплив технологічної обробки, оскільки це може призвести до втрат поживних речовин. Крім того, необхідно враховувати той факт, що вміст йоду у водоростях навіть одного й того ж виду може значно варіюватися залежно від багатьох факторів і врахувати їх всіх неможливо.

**Метою дослідження** є визначення вмісту йоду у водоростевій сировині та в готовому соусі, збагаченому водоростевою сировиною, а також аналіз втрат цього компоненту під час технологічної обробки.

**Викладення основних результатів дослідження.** Об'єктами дослідження були морська бура водорість *Laminaria Digitata*, соус чорнично-журавлинний з соком калини, збагачений водоростевою сировиною. Як контроль досліджували розроблений соус без йодвміщуючої добавки.

Для визначення йодид-іонів у різних зразках можуть бути використані кілька методів, включаючи капілярний електрофорез, вольтаметрію, газову хроматографію, іонну хроматографію, високоефективну рідинну хроматографію, а також кінетичні методи. Незважаючи на численні переваги вищезазначених методів, дуже мало з них широко застосовується через високі витрати на приладобудування, програмне забезпечення й обслуговування. Спектрофотометричні та хроматографічні методи дуже часто використовуються для аналізу йоду та різних його хімічних форм у харчових продуктах та сировині.

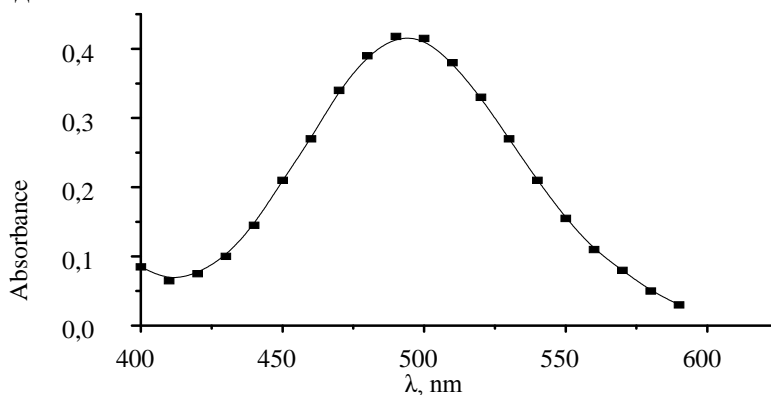
УФ-спектрофотометрія — один з найбільш часто використовуваних аналітичних методів, доступних у лабораторіях, має ряд важливих переваг, включаючи простоту операцій, низьку вартість та відносну швидкість і точність. На жаль, низькі концентрації видів йоду в зразках і недостатня селективність ускладнюють безпосередньо їх вимірювання спектрофотометрією. Нові методології мікроекстракції можуть змінити цю ситуацію.

Для визначення йоду запропоновано лише невелику кількість методів мікроекстракції [18; 19]. Велика перевага процедур мікроекстракції полягає в їх підвищеній чутливості, що є наслідком значного збільшення співвідношення зразка до органічної фази. Тож доцільним є розроблення нового екстракційно-спектрофотометричного методу визначення йоду в морських водоростях.

Стандартним методом визначення йодид-іонів у водоростях (ГОСТ 26185-84) є методика, що ґрунтується на окисленні йодиду до йоду нітритом натрію та подальшому його екстрагуванні бензолом. Основним недоліком цієї методики є використання великого обсягу органічного розчинника (10 мл) в одному аналізі, що значно зменшує чутливість визначення. Крім того, така кількість розчинника, що використовується, не відповідає сучасним принципам «зеленої хімії».

У запропонованому способі об'єм використаного органічного розчинника було зведено до мінімуму з метою збільшення коефіцієнта попередньої концентрації та зменшення несприятливого впливу органічного розчинника на навколишнє середовище. Щоб мінімізувати кількість екстрагенту, який використовується, було запропоновано внести зміни в конструкцію скляної кювети, яка, зазвичай, використовується в спектрофотометрії.

Запропонований спосіб заснований на перетворенні всього йоду, що міститься в морських водоростях, в йодиди шляхом спалювання при 450°C у сильнолужному середовищі та подальшому його окисленні нітритом натрію. Потім утворений у цій реакції йод екстрагується толуеном. Спектр йоду в толуені має максимум поглинання при 490 нм (рис. 1). Молярний коефіцієнт світлопоглинання йоду в толуені при цій довжині хвилі дорівнює  $1050 \text{ моль}^{-1} \text{ дм}^3 \text{ см}^{-1}$ .

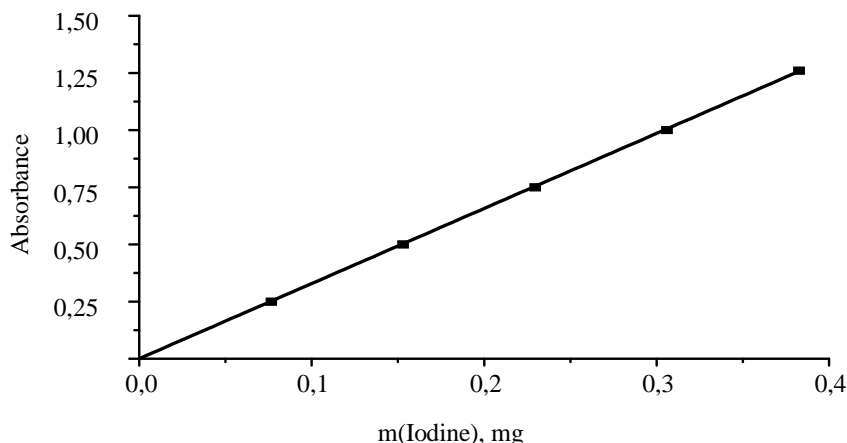


**Рис. 1.** Спектр екстракту йоду в толуені:  $C(I_2) = 4 \cdot 10^{-4} \text{ М}$ ,  $l = 1 \text{ см}$

Об'єм 33-відсоткового розчину КОН складав 0,2 мл. Це значення було рекомендовано у стандартному методі (ГОСТ 26185-84). Поглинання органічної фази не змінювалося за рахунок зміни об'єму 25-відсоткового розчину нітриту натрію від 0,1 до 0,25 мл. Оптимальним було обрано 0,15 мл.

Для нейтралізації гідроксиду калію необхідна сульфатна кислота. Екстракція повинна відбуватися в кислому середовищі. Крім того, необхідно стежити, щоб середовище не було занадто кислим. У кислому середовищі окислення йодиду до йоду прискорюється киснем, розчиненим у воді. Було виявлено, що якщо використовувати менше 0,2 мл 25-відсоткового розчину сульфатної кислоти, то цієї кількості недостатньо для нейтралізації луку. Середовище залишається лужним і екстракція не відбувається (візуально екстракт залишається безбарвним). Зі зміною об'єму сірчаної кислоти з 0,2 мл до 0,5 мл світлопоглинання практично не змінювалося. Для забезпечення нейтралізації луку як оптимального об'єму було обрано 0,30 мл 25-відсоткового  $H_2SO_4$ .

Знайдені оптимальні умови були використані для побудови градууювального графіка для визначення йодиду (рис. 2).



**Рис. 2.** Градууювальний графік для мікроекстракційно-спектрофотометричного визначення йодиду:  $C(KOH) = 6,6 \text{ г/дм}^3$ ;  $C(H_2SO_4) = 0,3\%$ ;  $C(NaNO_2) = 0,15\%$ ;  $V(\text{зразка}) = 10 \text{ мл}$ ;  $V(\text{толуену}) = 1,0 \text{ мл}$ ;  $\lambda = 490 \text{ нм}$ ;  $L = 1,0 \text{ см}$

Методика побудови градууювального графіка для визначення йодид-іонів: у мірну пробірку об'ємом 20 мл додають розчин, що містить від 0,1 мг до 0,5 мг калій йодиду, 0,2 мл 330 г/дм<sup>3</sup> КОН, додають воду до 10 мл, 1 мл толуену, 0,3 мл 25-відсоткового  $H_2SO_4$ , 0,15 мл 25-відсоткового  $NaNO_2$ . Далі отриману суміш 30 разів струшують, екстракт і невелику кількість водної фази переносять у 5 мл пробірку для центрифугування. Центрифугують протягом 15 с зі швидкістю 5000 об/хв. Переносять органічну фазу мікрошприцом у кювету. Світлопоглинання вимірюють в кюветі з довжиною поглинаючого шару 10 мм при довжині хвилі 490 нм.

Для вимірювань малих об'ємів екстракту була модифікована скляна кювета шляхом вставки двох скелець прямокутної форми, яка зробила можливим проведення вимірювань поглинання з обсягами органічної фази менше 1 мл.

Градувальний графік був лінійним у діапазоні концентрацій йодиду від 0,01 мг до 0,5 мг у 10 мл зразка. Рівняння градувального графіка:

$$A = (3,293 \pm 0,015) \cdot C_1,$$

де  $A$  — оптична густина,  $C_1$  — концентрація йодиду в мг на 10 мл зразка. Межа виявлення, обчислена як триразове відношення стандартного відхилення перетину до нахилу градувального графіка, дорівнювала 0,003 мг на 10 мл водного розчину (0,2 проміле (мг/л) йоду або  $1,8 \cdot 10^{-6}$  моль/л). Перерахунок межі виявлення на суху масу водоростей дав значення  $2 \cdot 10^{-4}\%$ , що на декілька порядків краще, ніж у стандартному методі. Градувальний графік для стандартного методу визначення йодиду у водоростях будується в межах від 7 мг до 35 мг йоду на зразок. Отже, чутливість запропонованого способу на два порядки більша, ніж для стандартного способу. Запропонований спосіб використовує 1 мл органічного розчинника замість 10 мл, які запропоновані за стандартом.

Також була досліджена можливість більш ефективного концентрування йоду. Екстракцію проводили з 10 мл або 20 мл водного розчину KI, а об'єми толуену дорівнювали 0,1 мл, 0,2 мл та 0,5 мл. Було показано, що аж до 50-разового попереднього концентрування відсоток вилучення йоду був близьким до 100%. При спробі досягти 100-разового концентрування (з 10 мл водного розчину в 0,1 мл толуену) ефективність вилучення та відтворюваність значно погіршилися. У запропонованій процедурі було використано лише 10-разове концентрування.

Методика аналізу водоростей: 1 г подрібнених водоростей зважують у тиглі з абсолютною похибкою не більше 0,001 г, змочують 1 мл 330 г/л розчину гідроксиду калію. Вміст тигля висушують і обережно нагрівають в електроізоляційній печі при 450°C, періодично змочуючи водою до отримання чорно-сталевого відтінку. Золу подрібнюють скляною паличкою в порошок, заливають 8 мл дистильованої води, після чого перемішують і відфільтровують через паперовий фільтр у градуйований циліндр місткістю 20 мл. Золу промивають дистильованою водою на фільтрі, загальна кількість фільтрату не повинна перевищувати 10 мл. Потім аналіз проводять як описано вище.

*Таблиця. Результати аналізу водоростей Laminaria digitata*

Співвідношення йоду, %	S (S <sub>r</sub> )	X <sub>конст</sub> ±Δ, %
0,252; 0,222; 0,246; 0,280; 0,255	0,019 (7,4%)	0,252±0,020

У результаті встановлено, що вміст йоду у водоростях ламінарії коливається в межах від 0,232 до 0,272%. Результати досліджень порівнювались з результатами, отриманими за стандартною методикою за ГОСТ 26185-84. Крім того, був проведений арбітражний аналіз у лабораторії, що акредитована для такого аналізу.

Попередні розрахункові дослідження вмісту йоду в готовому соусі свідчать, що вживання до 100 г забезпечить добову потребу людини в йоді. Також були проведені експериментальні дослідження, що доводять цінність розробленого

чорнично-журавлиного соусу з гідратованою ламінарією та контрольного зразка без вмісту водоростевої сировини.

Державного стандарту для визначення вмісту йоду в соусах немає, тому для дослідження використовувались затверджені методичні рекомендації визначення масової частки йоду в харчових продуктах та сировині титриметричним методом. Проте при проведенні дослідження виявилось, що для отримання достовірного результату необхідно провести ряд модифікацій методики, описаних нижче.

Ряд наважок зразків масою в межах 10—15 г (відповідно до методичних вказівок маса наважки повинна становити близько 20 г, проте подальший експеримент виявив недоцільність використання такої кількості) змішали з відповідними кількостями (20% від маси наважки) калію вуглекислого (поташу) у фарфорових чашках. Враховуючи порівняно високий вміст води у зразках у вихідному стані, додаткове змочування суміші водою не проводили. Отримані суміші підсушили в сушильній шафі за температури 105—110°C та перенесли у муфельну піч, де проби були поступово озолено шляхом поступового збільшення температури від 150°C до 250°C. Після припинення виділення пари температуру муфельної печі піднімали на 50°C кожні 30 хв до досягнення температури 500°C. Проби витримували при цій температурі до повного озолення. Для пришвидшення процесу озолення кожні 10—15 год чашки з пробями охолоджували до кімнатної температури, їх вміст перетирали фарфоровим пестиком та змочували невеликою кількістю води, після чого зразки підсушували за температури 105—110°C та поміщали у муфельну піч, де поступово (50°C/30 хв) нагрівали до температури 500°C. Після завершення озолення проби набули вигляду білого кристалічного матеріалу з незначним блакитним відтінком. Одночасно з пробями, було озолено також наважку поташу масою 10 г.

Далі було проведено перекристалізацію отриманої золи, що містила весь йод, для вилучення нерозчинних компонентів та недогорілих частинок.

Для вилучення йодвмісних сполук із золи провели екстракцію етанолом відповідно до методичних вказівок без модифікацій. Провели шестикратну екстракцію етиловим спиртом для кожної наважки проби та наважки поташу, що озолювалась паралельно. Спиртові екстракти випарили на водяній бані. На дні випарних чашок залишився наліт білого кольору. Для переведення йодиду у йодат провели ряд процедур. Сухі залишки спиртових екстрактів змили 10 мл води (по три порції води, загальним об'ємом 10 мл) у конічні колби ємністю 50 мл. До розчинів екстрактів проб та екстракту наважки поташу додали по 7 крапель 40% сірчаної кислоти. Для окиснення йодиду у йодат у методиці передбачається додавати 0,3 мл бромної води та кип'ятити протягом 1 хвилини. При проведенні окиснення проб дослідних зразків було встановлено, що такої кількості бромної води недостатньо для окиснення всього йоду, що міститься у наважці у йодат. Частина йодиду окислюється до йоду і випаровується з розчином при кип'ятінні. При проведенні кип'ятіння доцільно відслідковувати втрати йоду шляхом поміщення над парою шматочків фільтрувального паперу, змоченого водним розчином крохмалю. При появі характерного забарвлення вважати кількість бромної води, доданої у цю пробу недостатньою і результати некоректними. Додавання додаткової

кількості бромної води та повторне кип'ятіння цієї ж проби не дозволить уникнути помилки, адже частина йоду вже звітрилась зі зразка в повітря. Було встановлено, що для наважки дослідного зразка масою 15 г необхідна кількість насиченої бромної води більша та складає 1,5 мл.

До підкислених сірчаною кислотою розчинів додали 1,5 мл бромної води та помістили на розігріту електроплитку. Після кип'ятіння розчинів протягом однієї хвилини колби зняли, охолодили проточною водою та додали у них по 10 крапель 3% розчину фенолу. Після цього у кожен колбу додали кілька кристаликів йодиду калію та відразу відтитрували розчином тіосульфату натрію з концентрацією 0,01 моль-екв/л, з використанням бюретки на 10 мл 2 класу точності.

Методичні вказівки передбачають використання розчину тіосульфату натрію з концентрацією 0,001 моль-екв/л та мікробюретки 2-2-2, проте з урахуванням вмісту йоду в зразку, використання такого розчину призводить до необхідності використання близько 100 мл титранту, що, враховуючи об'єм бюретки, значно впливає на метрологічні характеристики методу. Підвищена концентрація розчину тіосульфату натрію у 10 разів зменшує використаний об'єм титранту до значень, близьких до 10 мл, що дає змогу конкретно використати бюретку об'ємом 10 мл для обраних наважок.

За перерахунком отриманих результатів титрування окиснених екстрактів проб, окисненого екстракту поташу та ряду модельних розчинів встановлено вміст йоду в зразках ягідного соусу з ламінарією  $61 \pm 15$  мг/100 г. Дослідження контрольного зразка продукції без додавання водоростевої сировини не виявило йоду в зразках. Відсутність йоду може бути обумовлена нечутливістю цієї методики до існуючої кількості йоду в зразку.

Отже, якщо знехтувати можливою похибкою дослідження, можна зробити припущення, по-перше, що весь йод, який міститься в готовому продукті потрапляє туди з водоростевої сировини. По-друге, провівши розрахункові дослідження, очевидним є той факт, що втрати йоду під час технологічної обробки несуттєві.

### Висновки

Отримані результати підтверджують розрахункові дані стосовно вмісту йоду в розроблених ягідних соусах з водоростевою сировиною. Тож можна зробити висновок, що впровадження розроблених технологій ягідних соусів дасть змогу отримати продукт, збагачений йодом у кількостях, здатних задовольнити добову потребу людини в йоді. Однак існуючі стандартизовані методики визначення йоду в готовому продукті, навіть з удосконаленнями, мають ряд недоліків, зокрема використання великої кількості органічного розчинника, що не відповідає сучасним принципам «зеленої хімії», значна трудомісткість і похибка вимірювань. Тому доцільним є пошук інших методик дослідження розроблених йодованих продуктів.

Передбачається, що наступним етапом дослідження стане вдосконалення мікроекстракційно-спектрофотометричної методики з метою її використання для визначення вмісту йоду в ягідних соусах, оскільки існуюча доступна методика має ряд суттєвих недоліків.

**Література**

1. Подрушняк А. Є., Макарчук Т. Л., Кравцова Ю. В. Актуальні проблеми фортифікації та контролю якості харчових продуктів, збагачених йодом *Проблеми харчування: наук.-практ. Журн. №1(10). Ін-т екології і токсикології ім. Л. І. Медведя. К: Медицина України, 2006.*
2. Гришина Е. О., Титаренко А. В. Вплив вітамінів та мінералів на організм людини. *Наукові записки КНТУ. Вип.11, Ч. III, 2011. С. 240—256*
3. Проблема мікроелементів у харчуванні населення України та шляхи їх вирішення / В. Н. Корзун, І. П. Козярин, А. М. Парац і ін. *Проблеми харчування. 2007. № 1. С. 5—11.*
4. Корзун В. Н., Сагло В. І., Парац А. М. Харчування в умовах широкомасштабної аварії та її наслідків. *Укр. мед. часопис. 2002. № 11—12. С. 99—105.*
5. Andersson M., de Benoist B., Darnton-Hill I., Delange F. Iodine deficiency in Europe: A continuing public health problem. France, Geneva: World Health Organization, 2007.
6. Оцінювання йододефіцитних захворювань та моніторинг їх усунення: Посібник для керівників програм. Третє видання. К.: «К.І.С», 2008. 104 с.
7. Recommended iodine levels in salt and guidelines for monitoring their adequacy and effectiveness. World Health Organization, ICCIDD, UNICEF. Geneva, 1996. 9 p. (WHO/NUT/96.13)
8. Andersson M, de Benoist B, Delange F, Zupan J. Prevention and control of iodine deficiency in pregnant and lactating women and in children less than 2-years-old: conclusions and recommendations of the Technical Consultation. *Public Health Nutr. 2007 Dec;10(12A):1606-11. doi: 10.1017/S1368980007361004.*
9. Aghini-Lombardi F et al. Effect of iodized salt on thyroid volume of children living in an area previously characterized by moderate iodine deficiency. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism. 1997, 82. P. 1136—1139*
10. Герасимов Г. А., Манорова Н. М., Шишкіна А. А. Опыт использования йодированного хлеба для профилактики эндемического зоба в регионе с умеренным и легким дефицитом йода. *Пробл. эндокринологии. 1997. № 2. С. 21—24.*
11. Phillips DIW. Iodine milk and the elimination of endemic goiter in Britain. *Journal of Epidemiology and Community Health, 1997, 51. P. 391—393.*
12. Сухинина С. Ю., Селятицкая В. Г., Пальчикова Н. А. Эффективность использования обогащенного йодом плавленого сыра в профилактике эндемического зоба. *Вопросы питания. 1997. № 1. С. 21—23.*
13. Simescu M. et al. Iodized oil as a complement to iodized salt in schoolchildren in endemic goiter in Romania. *Hormone Research, 2002, 58: 78—82.*
14. Barba F. J., Microalgae and seaweeds for food applications: Challenges and perspectives. *Food Research International, Volume 99, Part 3, September 2017: 969—970.*
15. Корзун В. Н. Сагло В. І., Парац А. М., Чумак А. А., Буряченко Л. Ю. Харчові продукти з водоростями як засіб мінімізації дії радіації та ендемії. *Проблеми харчування. 2004. № 1(2). С. 29—34.*
16. Дейниченко Г. В., Листопад Т. С., Колісниченко Т. О. Обґрунтування доцільності використання водоростевої сировини при виготовленні соусів із дикорослих та культивованих ягід. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Том 1. С. 29—36.*
17. Дейниченко Г. В., Колісниченко Т. О., Листопад Т. С. Розробка технології ягідних соусів з йодвміщуючими добавками з урахуванням їх впливу на органолептичні показники. *Науковий вісник Львівського Національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. Львів: ЛНАВМ. 2018. Т. 20. № 85. С.107—113.*
18. Zaruba S., Vishnikin A., Andruch V. Novel vortex-assisted liquid-liquid microextraction approach using auxiliary solvent: Determination of iodide in mineral water samples. *Talanta. 2016. Vol. 149. P. 110—116.*
19. Zaruba S., Božová V., Vishnikin A. B., Bazef'Ya. R., Šandrejová J., Gavazov K., Andruch A. Vortex-assisted liquid-liquid microextraction procedure for iodine speciation in water samples. *Microchem. J. 2017. Vol. 132. P. 59—68.*

CREATION OF QUALITY NEW FRUIT AND VEGETABLE SEMI-FINISHED PRODUCTS AND CONFECTIONERY PRODUCTS WITH HEALTHY PROPERTIES ON THEIR BASIS

**V. Mykhaylov, O. Zagorulko, A. Zahorulko, K. Kasabova, I. Gordienko**  
*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

---

**Key words:**

*Fruit and vegetable  
Pasty  
Powdery  
Structural and  
mechanical properties  
Vegetable raw materials  
Pastilles*

**Article history:**

Received 16.09.2019  
Received in revised form  
27.09.2019  
Accepted 15.10.2019

**Corresponding author:**

O. Zagorulko  
**E-mail:**  
panamari73@gmail.com

**ABSTRACT**

A new method of production of a multicomponent fruit and vegetable semi-finished product and sugar confectionery, including pasty, has been developed. The recipe of semi-finished products is selected taking into account the health properties, which consists of apples, pumpkins, beets, sea buckthorn and chokeberry aronia. For the processes of concentrating and drying during the production of the semi-finished product, advanced equipment based on the flexible film resistive electric heater of the radiating type (FFREhRT) is used. For the developed equipment rational modes of processing of vegetable raw materials are established.

Changes in the structural and mechanical properties of the proposed multi-component fruit and vegetable paste and puree are presented. The quality assessment of multicomponent fruit and vegetable semi-finished products and confectionery based on them is made.

The introduction of multi-component fruit and vegetable paste can significantly increase the content of dietary fiber, organic acids, vitamins (group B, PP, C, E), phenolic compounds and minerals (magnesium, potassium, phosphorus, iron, calcium).

The production method and the recipe ratio of multicomponent fruit and vegetable paste and powdered semi-finished products on the basis of apples, pumpkins, beets, sea buckthorns and blackberry aronia have been grounded. The selected components are characterized by a high content of BAS and therapeutic and prophylactic properties.

The influence of the mass fraction of each component on the change of the structural-mechanical proposed multicomponent fruit and vegetable purees and pastes has been established. Analysis of the data of structural-mechanical properties and organoleptic evaluation shows the advantage of multicomponent fruit and vegetable paste with the introduction to 30% of apple puree pumpkin — 20%, beet — 10%, sea buckthorn — 20% and blackberry aronia — 20% to the total weight of raw materials.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-19

## **СТВОРЕННЯ ЯКІСНО НОВИХ ПЛОДООВОЧЕВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ І КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ НА ЇХ ОСНОВІ З ОЗДОРОВЧИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

**В. М. Михайлов, О. Є. Загорулько, А. М. Загорулько,  
К. Р. Касабова, І. О. Гордієнко**

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

*У статті розроблено новий спосіб виробництва багатокомпонентного плодоовочевого напівфабрикату та цукрових кондитерських виробів, зокрема пастили. Підібрано рецептуру напівфабрикатів з урахуванням оздоровчих властивостей, яка складається з яблука, гарбуза, буряка, обліпихи та аронії чорноплідної. Для процесів концентрування та сушіння під час виробництва напівфабрикату використовується удосконалене обладнання на основі гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу (ГПРЕНВТ). Для розробленого обладнання встановлено раціональні режими обробки рослинної сировини.*

*Проведено дослідження зміни структурно-механічних властивостей запропонованих багатокомпонентних плодоовочевих паст і пюре, та оцінювання якості багатокомпонентних плодоовочевих напівфабрикатів і кондитерських виробів на їх основі. З'ясовано, що внесення багатокомпонентної плодоовочевої пасту дає змогу суттєво підвищити вміст у виробі харчових волокон, органічних кислот, вітамінів (групи В, РР, С, Е), фенольних сполук і мінеральних речовин (магнію, калію, фосфору, заліза, кальцію).*

*Обґрунтовано спосіб виробництва та рецептурне співвідношення багатокомпонентних плодоовочевих пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів на основі: яблука, гарбуза, буряку, обліпихи та аронії чорноплідної. Обрані компоненти характеризуються високим вмістом БАР і лікувально-профілактичними властивостями.*

*Встановлено вплив масової частки кожного компонента на зміну структурно-механічних запропонованих багатокомпонентних плодоовочевих пюре і паст. Аналіз даних структурно-механічних властивостей і органолептичної оцінки свідчить про перевагу багатокомпонентної плодоовочевої пасту з введенням в 30% яблучне пюре гарбуза — 20%, буряку — 10%, обліпихи — 20% та аронії чорноплідної — 20% до загальної маси сировини.*

**Ключові слова:** *плодоовочеві, пастоподібні, порошкоподібні, структурно-механічні властивості, рослинна сировина, пастила.*

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах погіршення екологічного стану актуальним є питання забезпечення населення функціональними продуктами. Споживання таких продуктів запобігає захворюванням і старінню організму, надає фізіологічну дію, сприятливо впливаючи на одну або більше цільові функції організму, зміцнюючи здоров'я населення. Тому одним із головних завдань харчової промисловості є виробництво напівфабрикатів рослинного

походження, споживання яких сприятиме підвищенню активності захисних сил організму та забезпечуватиме нормальну життєдіяльність людини. Адже саме рослинна сировина містить значну кількість вітамінів, мінеральних і пектинових речовин, фітонцидів тощо [1].

Останнім часом спостерігається тенденція до збільшення виробництва та споживання багатокомпонентних плодоовочевих пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів завдяки їх високій біологічній і харчовій цінності, яка добре зберігається внаслідок використання в процесі виробництва оптимальних теплових режимів. Ці напівфабрикати можуть бути сировиною для кондитерських, хлібобулочних, молочних і м'ясних виробів, продуктів швидкого приготування, виробництва таблеток, гранул, трав'яних чаїв [2]. Тому актуальним є завдання розробки нових способів виробництва напівфабрикатів високого ступеня готовності з плодоовочевої сировини та розширення асортименту харчових виробів на їх основі з високими органолептичними характеристиками, харчової та біологічної цінності, низької собівартості й високої рентабельності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найважливішим природним ресурсом для розширення асортименту харчових виробів, що мають високу харчову і біологічну цінність, є плодоовочева сировина [1], переробка якої дає змогу отримувати безліч різноманітних харчових напівфабрикатів і готових продуктів.

Виробництво з плодоовочевої сировини багатокомпонентних плодоовочевих пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів дає змогу рівномірно протягом року забезпечувати населення цією продукцією та створювати резерви. Напівфабрикати у формі паст та порошку є незамінними натуральними збагачувачами різними біологічно активними речовинами, структуроутворювачами та поліпшувачами кольору харчових продуктів [3].

Аналіз публікацій підтвердив, що значну частину фруктових або плодоовочевих паст виготовляють одно- або двокомпонентними [4]. Однак такі пасты містять небагато вітамінів, мінеральних речовин та органічних кислот; колірна, ароматична та смакова гама досить бідні й естетично непривабливі. Рішення цього питання можливе за рахунок розширення асортименту пастоподібних напівфабрикатів шляхом створення багатокомпонентних композицій з рослинної сировини, яка б характеризувалася значним природним вмістом біологічно активних речовин і лікувально-профілактичними властивостями [5].

Основною стадією виробництва паст є концентрування відповідних пюре до досягнення масової частки сухих речовин 25...40% [6]. І саме під час концентрування, тривалість якого в більшості випарних апаратах може займати від 100 до 400 хв, відбуваються значні втрати біологічно активних речовин. Тому велике значення для підприємств харчової промисловості має розробка та впровадження ефективного обладнання, використання якого забезпечить виробництво високоякісних пастоподібних напівфабрикатів за

рахунок використання шадних температурних режимів і скорочення тривалості технологічного процесу [7].

Під час виробництва пастоподібних напівфабрикатів важливо враховувати їх структурно-механічні властивості для подальшого розрахунку технологічного обладнання, особливо під час внесення як компонент рецептурної суміші у кондитерські вироби, зокрема мармеладно-пастильних виробів.

Поряд із пастоподібними напівфабрикатами зростає попит і на порошкоподібні, технологія виробництва яких є дуже схожою. Після концентрування одержана паста надходить на подальше досушування до низької кінцевої вологості, потім подрібнення до одержання порошку і розфасовування у герметичну тару [8; 9].

Існуючі способи сушіння мають один важливий недолік — отримання порошку відбувається за умов використання високих температур [9], що спричиняє за собою втрати хімічного складу вихідної сировини та її харчової і біологічної цінності. Тому виникає потреба в впровадженні нових способів та обладнання, використання яких забезпечить виробництво високоякісних порошкоподібних напівфабрикатів з мінімальними витратами ресурсів [7].

Аналіз наведених матеріалів дає змогу спрямувати дослідження у напрямку вдосконалення процесів виробництва оздоровчих харчових продуктів шляхом зниження температури концентрування та сушіння в межах — 45...65°C [10]. Це підвищить якісні показники отриманих напівфабрикатів і кондитерських виробів на їх основі. Можливість отримання кінцевого порошкоподібного напівфабрикату після досушування попередньо загущених плодовоовочевих паст зменшить об'єми кінцевого продукту в середньому в 5—6 разів, забезпечить їх компактність, зменшить витрати на тару й транспортабельність з можливістю довготривалого зберігання [11; 12].

Отже, внесення до рецептур кондитерських виробів пастоподібних або порошкоподібних напівфабрикатів є перспективним для створення профілактичних продуктів і розширення існуючого асортименту [13—15]. Для розвитку цього напрямку в Україні є достатня сировинна база та науковий потенціал.

**Метою дослідження** є розробка способу виробництва пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів високого ступеня готовності з плодовоовочевої сировини та кондитерських виробів на їх основі.

**Викладення основних результатів дослідження.** Експериментальні дослідження з удосконалення способу виробництва пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів високого ступеня готовності з плодовоовочевої сировини та кондитерських виробів на їх основі проводилися на базі Науково-дослідного центру «Новітні біотехнології та обладнання для виробництва харчової продукції з високими оздоровчими властивостями» Харківського державного університету харчування та торгівлі (Україна).

Під час створення багатоконпонентних плодовоовочевих напівфабрикатів як основну сировину обрали яблуко (сорту Антонівка), гарбуз (сорту мускатний Перлина), буряк (сорту Бона), обліпиху (сорту Галерит), аронію чорноплідну

(сорту Чорноока), що мають лікувально-профілактичні властивості, а також пюре і пасти на їх основі. Як основну частку багатокомпонентного напівфабрикату використовували яблуко, що має високий вміст пектинових речовин, які забезпечують взаємодію з іншими компонентами. Так, гарбуз надзвичайно багатий життєво важливими речовинами, антиоксидантами та вітамінами. Він містить вітаміни С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, Е, РР та каротиноїди. Гарбуз — відмінне джерело харчових волокон, вуглеводів і бета-каротину (потужний антиоксидант, що надає помаранчевого забарвлення овочам та фруктам і в організмі перетворюється у вітамін А). Вживання продуктів, багатих бета-каротином, знижує ризик розвитку деяких видів раку, захищає від астми та інших хвороб серця, а також затримує процес старіння та дегенерацію тіла. М'якоть гарбуза покращує роботу шлунково-кишкового тракту, сприяє жовчовиділенню, підвищує водний і сольовий обмін.

У буряку містяться вітаміни В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub>, С, пантотенова (вітамін В<sub>3</sub>) і фолієва кислоти, каротиноїди, органічні (щавлева, яблучна) кислоти, білки і амінокислоти (лізин, валін, аргінін, гістидин тощо). Нарешті, буряк містить у значних кількостях солі заліза, марганцю, калію, кальцію, кобальту. Кобальт використовується для утворення вітаміну В<sub>12</sub>, який в організмі людини і тварин синтезується мікрофлорою кишечника. У свою чергу, цей вітамін і фолієва кислота беруть участь в утворенні формених елементів крові — еритроцитів. У цілому комплекс вітамінів групи В позитивно впливає на кровотворення, нормалізує обмінні процеси.

У м'якоті плодів обліпихи міститься велика кількість органічних кислот, цукрів, вітамінів групи В (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>), С, Е, К, залізо, марганець, магній, бор, сірка, кремній тощо. Обліпиху використовують для профілактики та лікування склерозу, зміцнення кровоносних судин, нормальної роботи нервової роботи.

Плоди аронії чорноплідної містять вітаміни С і РР, каротин, цукри, дубильні речовини й органічні кислоти. Аронію використовують при серцево-судинних захворюваннях, гіпертонії, для профілактики атеросклерозу, променевої і базедової хвороб. Буряк і аронія чорноплідна були взяті ще й як природний барвник.

Структурно-механічні властивості модельних зразків пюре та паст визначали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» у циліндричному виміральному пристрої за Куєту [16].

Для досягнення поставленої мети було розроблено спосіб виробництва багатокомпонентних пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів та кондитерських виробів на їх основі.

Для обґрунтування рецептурної композиції плодоовочевої пасти проведено експерименти з купажування. Підбір натуральної сировини здійснювався з урахуванням вмісту біологічно-активних речовин, органолептичних властивостей та впливу структурно-механічних показників кожного з компонентів на консистенцію продукту. Яблуко використовували як структуроутворювач, оскільки воно має великий вміст пектину; гарбуз і буряк — як джерело

харчових волокон. Крім того, буряк завдяки своєму унікальному біохімічному складу має оздоровчий ефект на організм людини. Використання нетрадиційної рослинної сировини, зокрема обліпихи й аронії чорноплідної, дає змогу збагатити пасти біологічно активними речовинами [17] та дотримуватися значення загальної кислотності на рівні 3,3...3,7 рН [18].

Виробництво багатокомпонентних плодоовочевих паст здійснювалося за запропонованим способом, який відрізняється прийнятими рецептурними компонентами та режимами технологічних обробок. Рецептурне співвідношення плодоовочевих компонентів у багатокомпонентних композиціях наведено у табл. 1.

**Таблиця 1. Рецептурне співвідношення плодоовочевих компонентів у багатокомпонентних композиціях**

Компонентний склад	Композиція (зразок)		
	1а	1б	1в
Яблуко	40	30	20
Гарбуз	25	20	15
Буряк	5	10	15
Обліпиха	15	20	25
Аронія чорноплідна	15	20	25
Контроль, %	100	100	100

Згідно із розробленим способом, плоди обліпихи та аронії чорноплідної мийуть, інспектують, окремо бланшують парою протягом 2...6 хв у багатофункціональному апараті. Ягоди обліпихи і аронії чорноплідної протирають відділяючи шкірки і кісточки. Вилучені після протирання шкірку та кісточки із залишками м'якоти відварюють протягом 5...10 хв, при цьому співвідношення маси шкірки і кісточок з м'якоттю до маси води складає 1:0,5...1:0,7. Отриману масу протирають.

Яблучне, гарбузове та бурякове пюре готують за діючою технологією для виробництва плодівих і овочевих пюре.

Потім з'єднують масу з обліпихи та аронії чорноплідної, протерту масу відвару зі шкірки і кісточок цих ягід, яблучне, гарбузове та бурякове пюре і перемішують. Плодоовочеву масу, попередньо підігрівши до температури 40...50°C, концентрують у роторному плівковому апараті (РПА) за температури 50...55°C до вмісту сухих речовин 28...30% протягом 1...1,5 хв. За умов остаточного концентрування пастоподібний напівфабрикат розфасовують за температури 56...59°C, закупорюють, пастеризують і маркують. Для отримання порошкоподібного напівфабрикату одержана паста надходить на досушування в розроблену безрефлекторну вальцюву ІЧ-сушарку, де сушиться до вологості 6—8% за температури 45...60°C протягом 50...60 хв.

Використання РПА в процесі концентрування та вальцювої ІЧ-сушарки для досушування пастоподібного продукту на основі гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу (ГПРЕНВТ) надає мож-

ливість значно скоротити тривалість термічної обробки продуктів і використовувати низькотемпературні режими теплової обробки, що забезпечує збереження харчової цінності природної сировини.

Для встановлення механізму та закономірностей процесів утворення, деформації та руйнування структури були досліджені зміни структурно-механічних властивостей пореподібних композицій згідно з рецептурним співвідношенням. Як контрольний зразок використовували яблучну сировину.

Результати досліджень зразків плодоовочевої сировини для пастоподібного напівфабрикату наведені на рис. 1.

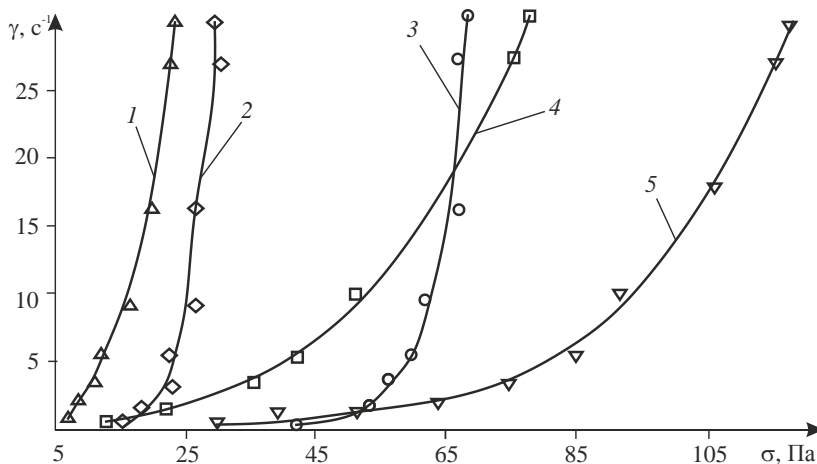


Рис. 1. Зсувні характеристики плодоовочевої сировини: 1 — яблуко; 2 — гарбуз; 3 — буряк; 4 — аронія; 5 — обліпіха

Як видно з рис. 1, гранична напруга зсуву для всіх видів плодоовочевої сировини відрізняється від нуля і складає для яблука  $\theta_0 = 42$  Па, гарбуза — 12, буряка — 30, обліпіхи — 3,5, аронії — 15 Па. Всі зразки мають граничну напругу зсуву і починають текти не відразу після збільшення напруги, тобто вони відносяться до неідеально пластичних твердподібних тіл. Збільшення граничної напруги зсуву для всієї плодоовочевої сировини пояснюється насамперед більшим вмістом сухих речовин і пектинових речовин.

Повна реологічна крива пюре розробленої рецептурної композиції з плодоовочевої сировини представлена на рис. 2.

Максимальне значення ефективної в'язкості пюре складає  $\eta_{ef}$  (Па·с) для зразків: 1а — 154; 1б — 148; 1в — 141 і контролю — 127 відповідно. Отже, введення до контролю плодоовочевої сировини згідно з рецептурним співвідношенням від 60 до 80% призводить до зростання показника ефективної в'язкості на 10...18%, що позитивно впливає на зміцнення структури пастоподібного напівфабрикату.

З метою перевірки відповідності якості отримуваних пастоподібних напівфабрикатів встановленим вимогам було проведено органолептичну оцінку виробів у балах за показниками: зовнішній вигляд, колір, запах, смак, консис-

тенція. Як контроль використовували яблучну пасту. Результати органолептичної оцінки якості наведені у табл. 2.

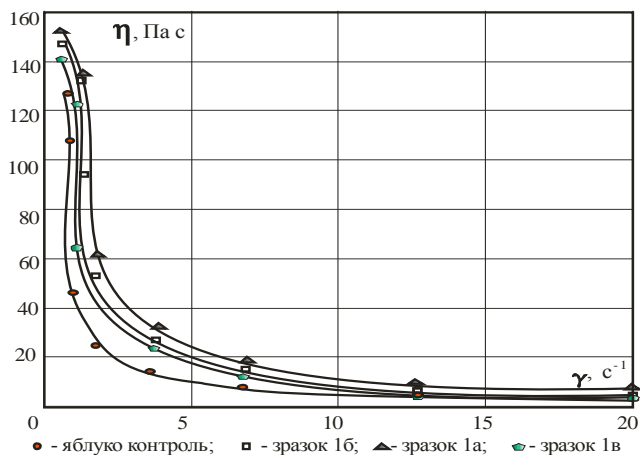


Рис. 2. Повна реологічна крива багатокомпонентних плодовоовочевих пюре

Таблиця 2. Результати органолептичної оцінки якості плодовоовочевих паст відповідно до зразків композицій

Зразки	Оцінка якості в розрізі показників, бали					
	Зовнішній вигляд	Колір	Запах	Смак	Консистенція	Разом
Контрольний зразок (паста з яблука)	8	8	4	8	10	38
Зразок 1а	9	9	5	9	12	44
Зразок 1б	10	10	5	10	14	49
Зразок 1в	9	9	5	9	13	45

Аналіз даних структурно-механічних властивостей і органолептичної оцінки свідчить про перевагу багатокомпонентної плодовоовочевої пасту з введенням в 30% яблучне пюре гарбуза — 20%, буряку — 10%, обліпихи — 20% та аронії чорноплідної — 20% (зразок 1б) до загальної маси сировини. Уведення гарбуза та буряку у великій кількості надає неприємного специфічного присмаку; у невеликій кількості обліпихи та аронії чорноплідної призводить до зниження харчової цінності продукту.

Запропоновано використання розробленої багатокомпонентної плодовоовочевої пасту у технологіях цукрових кондитерських виробів, зокрема пастили. Визначено органолептичні, фізико-хімічні та структурно-механічні показники якості пастили під час додавання пасту. Встановлено, що оптимальним є внесення багатокомпонентної пасту у кількості 40% із заміною яблучного пюре, що забезпечить значне збільшення фізіологічно функціональних інгредієнтів у виробах.

Зважаючи на це, запропоновано рецептури пастили «Ягідка» з використанням багатокомпонентної рослинної пасту (табл. 3).

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 3. Рецептури пастили «Ягідка» з додаванням плодоовочевої пасти

Найменування сировини та напівфабрикатів	Масова частка сухих речовин, %	Пастила «Ягідка»	
		На 1 т готової продукції	
		в натурі	в сухих речовинах
1	2	3	4
Цукор білий	99,85	686,0	685,0
Цукрова пудра	99,85	4,5	44,9
Патока	78,0	107	83,5
Пюре яблучне	10,0	366,0	36,6
Білок яєчний	12,0	23,3	2,8
Агар	85,0	6,0	5,1
Кислота молочна	40,0	4,2	1,7
Багатокомпонентна паста	33,0	184,8	54,9
Разом	—	148,31	92,03
<b>Вихід</b>	<b>85,0</b>	<b>1000,0</b>	<b>850,0</b>

Пастила з використанням плодоовочевої пасти містить підвищену кількість фізіологічно функціональних інгредієнтів порівняно з традиційною (табл. 4).

Таблиця 4. Харчова цінність пастили з додаванням плодоовочевої пасти

Показник	Норма вживання	Пастила «Ванільна» (контроль)	Пастила «Ягідка»
Калорійність, ккал		324,0	210,0
Білки, г/кг	1,5—2,5	0,5	0,55
Жири, г	45—65	0,5	0,5
Вуглеводи, г	150—260	80,0	54,5
Харчові волокна, г	25—35	0,8	1,8
Вітаміни			
Вітаміни групи В, мг	1,0—2,6	0,01	0,03
Вітаміни РР, мг	20,0	0,02	—
Вітамін С, мг	75,0—150,0	—	3,0
Вітамін Е, мг	10,0	—	0,98
Мінеральні речовини			
Натрій, мг	1300	16,0	18,5
Калій, мг	2500	55,0	127,4
Кальцій, мг	1000	21,0	18,0
Магній, мг	400	7,0	11,5
Фосфор, мг	800	11,0	15,3
Залізо, мг	10,0—20,0	1,6	1,6

Як видно з наведених даних, внесення плодоовочевої пасти дає змогу суттєво підвищити вміст у виробках харчових волокон, органічних кислот, вітамінів (групи В, РР, С, Е), фенольних сполук і мінеральних речовин (магнію, калію, фосфору, заліза, кальцію).

Крім того, за додавання плодоовочевої пасти виробу набувають вираженого присмаку й аромату, завдяки чому можливе використання пасти як натурального ароматизатора та барвника без застосування синтетичних.

## Висновки

Обґрунтовано спосіб виробництва та рецептурне співвідношення багатокомпонентних плодоовочевих пастоподібних і порошкоподібних напівфабрикатів на основі: яблука, гарбуза, буряку, обліпихи та аронії чорноплідної. Обрані компоненти характеризуються високим вмістом БАР і лікувально-профілактичними властивостями.

Встановлено вплив масової частки кожного компонента на зміну структурно-механічних запропонованих багатокомпонентних плодоовочевих пюре і паст. Аналіз даних структурно-механічних властивостей і органолептичної оцінки свідчить про перевагу багатокомпонентної плодоовочевої пасту з введенням в 30% яблучне пюре гарбуза — 20%, буряку — 10%, обліпихи — 20% та аронії чорноплідної — 20% до загальної маси сировини.

Розроблено рецептуру пасти «Ягідка» з додаванням багатокомпонентної плодоовочевої пасту (яблуко, гарбуз, буряк, обліпиха та аронія чорноплідна). Внесення рослинної пасту дає змогу суттєво підвищити вміст у виробі харчових волокон, органічних кислот, вітамінів, фенольних сполук і мінеральних речовин. Крім того, за додавання плодоовочевих паст зразки набувають вираженого присмаку й аромату, завдяки чому можливе використання пасту як натурального ароматизатора та барвника.

Подальші дослідження плануються спрямувати у напрямку визначення оптимальних режимів попередньої теплової обробки рослинної сировини з метою підвищення якості отримуваних напівфабрикатів і зменшення відходів.

## Література

1. Переднев В. П., Шапиро Д. К., Матвеев В. А., Радюк А. Ф. Плоды и овощи в питании человека. Мн.: Ураджай, 1983. 208 с.
2. Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О. Харчові порошки з рослинної сировини. Класифікація, методи отримання, аналіз ринку. *Біотехнологія*. 2010. Т. 3, № 5. С. 43—49.
3. Капрелянц Л. В., Іорґачова К. Г. Функціональні продукти. Одеса, 2002. 289 с.
4. Силич А. А., Евстратьева Н. Д. Производство натуральных паст из фруктов и овощей. *Консервная и овощесуши. промышленность*. 1984. № 11. С. 10—11.
5. Касіянчук В. Д., Ковач М. М., Касіянчук М. В. Перспективи використання дикорослих плодів, ягід і грибів в умовах Прикарпаття для виготовлення продукції лікувально-профілактичного призначення. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.1. С. 151—156.
6. Скрипников Ю. Г. Технология переработки плодов и ягод. К.: Урожай, 1991. 272 с.
7. Magomedov G. O., Magomedov M. G., Astredinova V. V., Litvinova A. A. Technology concentration of fruit and vegetables. *Vestnik Voronežskogo Gosudarstvennogo Universiteta Inženeryh Tehnologij*. 2012. Vol. 0(4). P. 86—89. DOI 10.20914/2310-1202-2012-4-86-89.
8. Снежкін Ю. Ф. Научные основы разработки ресурсосберегающих теплотехнологий производства фруктово-ягодных порошков: дисс. ... доктора техн. наук: 05.14.04, 05.18.12. К., 1993. 356 с.
9. Нечаев А. П. Технологии пищевых производств: учеб. для вузов. М.: Колос, 2007. 769 с.
10. Пат. на корисну модель 119166 Україна, МПК В01D 1/22. Вальцьова ІЧ-сушарка для сушіння природних паст (пюре) у порошкоподібні напівфабрикати; заявник та патентовласник Харк. держ. ун-т харч. та торг. № у 201703857; заявл. 19.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. 5 с.
11. Семенов Г. В., Касьянов Г. И. Сушка пищевого сырья. Ростов-на-Дону: МарТ, 2002. 112 с.

12. Киселева Т. Ф. Технология сушки: Учебно-методический комплекс. Кемерово, 2007. 117 с.

13. Гладушняк О. К., Бурчак В. І. Природні овочеві пасти-консерви. *Наукові праці ОДАХТ*. Одеса, 1999. Вип. 20. С. 99—104.

14. Касьянов Г. И., Самсонова А. И. Технология консервов для детского питания. М.: Колос, 1996. 160 с.

15. Киптелея Л. В., Афукова Н. А., Загуменная О. В. Технология пастообразного полуфабриката из плодово-ягодного сырья и его использование в производстве кулинарных изделий. *Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв*: зб. наук. пр. Х. ХДАТОХ, 2000. Ч. 1. С. 70—73.

16. Черевко А. И., Михайлов В. М., Маяк В. И. Реология в процессах производства пищевых продуктов: учебн. пособие: в 2 ч. Ч. 1. Классификация и характеристика неньютоновских гидкостей. ХДУХТ. Х., 2012. 180 с.

17. Базарнова Ю. Г. Исследование содержания некоторых биологически активных веществ, обладающих антиоксидантной активностью, в дикорастущих плодах и травах. *Вопросы питания*. 2007. Вып. 76, № 1. С. 22—26.

18. Biological activities of selected polyphenol-rich fruits related to immunity and gastrointestinal health / Petko Denev, Maria Kratchanova, Milan Ciz, Antonin Lojek, Ondrej Vasicek, Plamena Nedelcheva, Denitsa Blazheva, Reneta Toshkova, Elena Gardeva, Liliya Yossifova, Pavel Hyrsrl, Libor Vojtek // *Food Chemistry*, Vol. 157, 15 August 2014, Pages 37—44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.022>.

SPECIFICS OF COMPOSITION OF OIL FROM NON-DRUG HEMP OF DOMESTIC SELECTION

**T. Nosenko, O. Muzyka, G. Cygankova**

*National University of Food Technologies*

**I. Levchuk**

*State Enterprise “Ukrmetrteststandard”*

**I. Marynchenko**

*Institute of Bast Crops of the NAAS of Ukraine*

**Key words:**

*Hemp oil*

*Fatty acids*

*Tocopherols*

*Sterols*

*Antioxidant activity*

**Article history:**

Received 12.09.2019

Received in revised form

27.09.2019

Accepted 15.10.2019

**Corresponding author:**

T. Nosenko

**E-mail:**

tamara\_nosenko@ukr.net

**ABSTRACT**

The aim of this work was to study the component composition of hemp oil of domestic breeding, its biological value and antioxidant activity. The object of research was the oil from hemp seeds Glukhivskiy 51 of domestic selection with tetrahydrocannabinol content  $\leq 0.001\%$ .

The quality of hemp oil was determined by standard methods. The fatty acid composition of the oil was analyzed by gas-liquid chromatography. The unsaponifiable substances of oil were extracted with diethyl ether and separated into fractions by thin layer chromatography. The composition of the sterol fraction of the oil was determined by gas chromatography. The determination of the composition of tocopherols was carried out by the method of high-performance liquid chromatography of the unsaponified lipid fraction. The antioxidant activity of the oil was evaluated by the free radicals quenching reaction of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

It was found that the oil extracted from the hemp seeds of the selection Glukhivskiy 51 had a high content of  $\alpha$ -linolenic  $\omega$ -3 acid (~17.57%), the mass fraction of  $\gamma$ -linolenic polyunsaturated fatty acid ( $\omega$ -6 PUFA) was approximately 2.43% and did not contain stearidine  $\omega$ -3 PUFA, which was found in the oil of other non-drug hemp varieties. The main fraction of tocopherols was the sum ( $\beta$ + $\gamma$ ) of tocopherols, and the fraction of  $\alpha$ -tocopherol was significantly smaller. The rate of DPPH free radicals quenching by hemp oil was significantly higher than that of sunflower, and the antioxidant activity was 32.1%, whereas that of sunflower oil was — 13.0%. The main sterol in hemp oil was  $\beta$ -sitosterol, which content in the sterol fraction was almost 64%.

Therefore, Glukhivskiy 51 hemp seed oil has high biological value due to the optimum ratio of  $\omega$ -6:  $\omega$ -3 PUFA, which was 3.2:1, and antioxidant activity and can be recommended for healthy nutrition of the population.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-20

## ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ ОЛІЇ ІЗ НАСІННЯ НЕНАРКОТИЧНИХ КОНОПЕЛЬ ВІТЧИЗНЯНОЇ СЕЛЕКЦІЇ

Т. Т. Носенко, О. С. Музика, Г. А. Циганкова

Національний університет харчових технологій

І. В. Левчук

Державне підприємство «Укрметртестстандарт»

І. О. Маринченко

Інститут луб'яних культур НААН України

У статті досліджено компонентний склад конопляної олії вітчизняної селекції, її біологічної цінності та антиоксидантної активності. Об'єктом досліджень була олія з насіння конопель вітчизняного сорту Глухівські 51 із вмістом тетрагідроканабінолу, що не перевищує 0,001%.

Показники якості конопляної олії визначали за стандартними методами. Жирнокислотний склад олії досліджували за допомогою газово-рідинної хроматографії. Неомилени речовини олії екстрагували диетиловим ефіром і розділяли на фракції методом тонкошарової хроматографії. Визначення складу стеролової фракції олії проводили методом газової хроматографії. Визначення складу токоферолів здійснювали методом вискоефективної рідинної хроматографії неомиленої фракції ліпідів. Антиоксидантну активність олії оцінювали за реакцією гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH).

Встановлено, що олія, вилучена із насіння сорту Глухівські 51, мала високий вміст  $\alpha$ -ліноленової  $\omega$ -3 кислоти (~17,57%), масова частка  $\gamma$ -ліноленової поліненасиченої жирної кислоти ( $\omega$ -6 ПНЖК) була приблизно 2,43% та не містила стеаридинової  $\omega$ -3 ПНЖК, яка була виявлена в олії інших ненаркотичних сортів конопель. Основною фракцією токоферолів була сума ( $\beta$ + $\gamma$ ) токоферолів, суттєво меншою — частка  $\alpha$ -токоферолу. Швидкість реакції гасіння вільних радикалів DPPH конопляною олією була суттєво вищою, ніж соняшниковою, а антиоксидантна активність становила 32,1%, тоді як у соняшникової олії — 13,0%. Основним представником стеролів у конопляній олії був  $\beta$ -ситостерол, частка якого в стероловій фракції склала майже 64%.

Отже, олія насіння конопель сорту Глухівські 51 має високу біологічну цінність за рахунок оптимального співвідношення  $\omega$ -6: $\omega$ -3 ПНЖК, яке становило 3,2:1, та антиоксидантну активність і може бути рекомендована для здорового харчування населення.

**Ключові слова:** конопляна олія, жирні кислоти, токоферолі, стеролі, антиоксидантна активність.

**Постановка проблеми.** В Україні традиція споживання конопляної олії у харчовому раціоні існувала протягом століть. Вирощуючи коноплі для одержання волокна, населення виготовляло олію із насіння. Проте з часом традиція використання цієї олії була забута, оскільки вирощування цієї культури

пов'язували з виробництвом наркотичних речовин. Іншою причиною було широке впровадження в агрокультуру соняшнику та виробництво соняшникової олії. Проте відомо, що соняшникова олія практично не містить есенціальних поліненасичених жирних кислот родини  $\omega$ -3. В наш час в Україні Інститутом луб'яних культур УНААН створені ненаркотичні сорти конопель. Але традиція споживання такої олії ще не відновлена.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ненаркотичні різновиди конопель (*Canabis sativus* L.) практично не містять речовин, що мають психоактивну дію, основним представником яких є тетрагідроканабінол. Насіння олійних сортів конопель містить значну кількість цінної олії, білків, харчових волокон. За даними J. C. Callaway [1; 2], вміст олії в насінні олійних конопель становить 36%, білків — 25%, харчових волокон — 28%. У конопляній олії містяться есенціальні поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), такі як лінолева ( $\omega$ -6 ПНЖК),  $\alpha$ -ліноленова ( $\omega$ -3 ПНЖК). Середнє значення співвідношення  $\omega$ -6: $\omega$ -3 ПНЖК, за яким оцінюють біологічну цінність жирних продуктів, становить 3:1 [3—5] і є близьким до рекомендованого Європейським агентством із харчової безпеки (3—5):1 [6]. Для прикладу це співвідношення у соняшниковій олії понад 600, канолової — приблизно 2, соєвої — приблизно 7—10 [1; 7; 8]. Крім того, конопляна олія містить унікальні ПНЖК  $\gamma$ -ліноленову кислоту (C 18:3  $\omega$ -6) та стеаридинову (C 18:4  $\omega$ -3), які практично не зустрічаються в інших рослинних оліях [9]. Вважають, що ці ПНЖК відіграють важливу роль у зменшенні ризику серцево-судинних захворювань, ревматоїдного артрити та інших [10; 11].

За даними [12], в насінні наркотичних різновидів конопель, які вирощувались у тропічному й екваторіальному кліматичному поясі, олія практично не містила  $\alpha$ -ліноленової  $\omega$ -3 ПНЖК. Автори праці [13] дослідили 11 зразків конопляної олії переважно європейських виробників, які суттєво відрізнялись за вмістом тетрагідроканабінолу (від 3 до 70 мг/кг), і встановили, що вміст  $\alpha$ -ліноленової  $\omega$ -3 ПНЖК коливався в межах від 15 до 20%. При цьому співвідношення  $\omega$ -6: $\omega$ -3 ПНЖК було в інтервалі 2,83—3,55. У той же час виявлено кореляцію між вмістом канабіноїдів і  $\gamma$ -ліноленової (C 18:3  $\omega$ -6) та стеаридинової (C18:4  $\omega$ -3) кислот, в олії з високим вмістом тетрагідроканабінолу частка цих кислот була нижчою.

**Мета статті:** дослідження компонентного складу конопляної олії вітчизняної селекції, її біологічної цінності й антиоксидантної активності.

**Матеріали і методи.** Для дослідження обрано олію з насіння конопель вітчизняного сорту Глухівські 51 із вмістом тетрагідроканабінолу не вище 0,001%. Олію вилучали холодним пресуванням (температура пресування 60°C) на лабораторному пресі. Показники якості олії визначали за стандартними методами.

Визначення антиоксидантної активності олії методом гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH). Для реакції використовували розчин 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу концентрацією 3 мг/100 мл в етилацетаті, який мав значення оптичної густини на довжині хвилі 520 нм в межах 0,7—0,9.

Для приготування реакційної суміші до 100 мг олії додавали розчин DPPH в етилацетаті, ретельно перемішували та визначали початкове значення оптичної густини реакційної суміші на довжині хвилі 520 нм ( $D_0$ ). Реакційну суміш витримували без доступу світла та визначали оптичну густину на 520 нм ( $D_1$ ) через заданий інтервал часу. Антиоксидантну активність розраховували за зміною оптичної густини протягом 30 хв:

$$A = \left[ 1 - \frac{D_1}{D_0} \right] \cdot 100.$$

Жирнокислотний склад олії досліджували за допомогою газОВО-рідинної хроматографії [14] на газовому хроматографі Hewlett Packard HP-6890 із застосуванням капілярної колонки ZB-WAX довжиною 30 м, внутрішнім діаметром 0,32 мм та товщиною нерухомої фази 0,5 мкм за таких умов: швидкість потоку газу-носія — 10 см<sup>3</sup>/хв, об'єм зразка 1,0 мкл, коефіцієнт поділу потоку — 1:100, температура інжектора — 230°C, температура детектора — 250°C. Температурний режим колонки — поступове нагрівання від 50°C до 220°C.

Метиллові ефіри жирних кислот олії готували згідно з [15]. Для ідентифікації хроматографічних піків та обрахунку хроматограм використовували суміш метилових ефірів жирних кислот — 37 Component FAME Mix, Supelco (кат. №47885-U). Реєстрацію та обробку хроматограм здійснювали за допомогою персонального комп'ютера, оснащеного програмним забезпеченням NetChrom V2.1.

Визначення складу стеролової фракції проводили згідно з [16]. Досліджуваний зразок олії масою 100 мг омилували у спиртовому розчині КОН протягом 1 години, після охолодження неомилені речовини екстрагували диетиловим ефіром тричі. Об'єднані ефірні екстракти промивали дистильованою водою тричі. Ефірний розчин фільтрували крізь шар сульфату натрію, а розчинник випаровували. Екстракт розділяли на фракції за допомогою тонкошарової хроматографії. Стеролову фракцію тричі екстрагували диетиловим ефіром. Екстракт аналізували шляхом хроматографії у газовій фазі. Детекцію здійснювали за допомогою газового хроматографа виробництва фірми Hewlett-Packard HP6890 із полум'яно-іонізаційним детектором.

Визначення складу токоферолів методом ВЕРХ здійснювали згідно з [17; 18].

Омилення олії проводили за температури 85—90°C протягом 30 хв у метиловому спирті, водному 10-відсотковому розчині аскорбінової кислоти, 50-відсотковому водному розчині гідроксиду калію. Неомилені речовини екстрагували тричі диетиловим ефіром, промивали дистильованою водою і висушували сульфатом натрію. Сухий залишок неомилених речовин розчиняли у метиловому спирті і використовували для хроматографічного аналізу на рідинному хроматографі Hewlett-Packard HP 1100. Умови хроматографування: мобільна фаза ацетонітрил: вода (70:80), швидкість потоку 0,4 см<sup>3</sup>/хв, температура термостату 40°C.

Реєстрували не менше п'яти хроматограм кожного розчину. З отриманих значень площ хроматографічних піків знаходили середнє арифметичнє. На хроматограмах ідентифікували компоненти за часом утримання піків порівняно з піками вітамінів на хроматограмах контрольних розчинів. Кількісне визначення проводили, визначаючи площі піків.

**Результати і обговорення.** Показники якості конопляної олії свідчать, що вона містить незначну кількість неетерифікованих жирних кислот, первинних і вторинних продуктів окиснення (табл. 1).

*Таблиця 1. Показники якості конопляної олії*

Показник якості	Значення
Кислотне число, мг КОН/г	2,4±0,1
Пероксидне число, ммоль/2 О/кг	3,7±0,3
Анізидинове число, умовні одиниці	2,8±0,4

Одержані хроматограми підтвердили високий вміст  $\alpha$ -ліноленової кислоти (~17,57%) у досліджуваних зразках конопляної олії (табл. 2). Масова частка  $\gamma$ -ліноленової ПНЖК була приблизно 2,43%, що відповідає даним, одержаним у [13]. За даними авторів, вміст ПНЖК коливався від 0,51 до 4,55% у досліджених зразках олії. У зразках із підвищеним відносним вмістом тетрагідроканабінолу масова частка  $\gamma$ -ліноленової ПНЖК була мінімальною. Як свідчать результати, наведені в таблиці, досліджувана олія не містила стеаридинової ПНЖК, масова частка якої [13] у досліджених зразках олії складала від 0,26 до 1,57%.

*Таблиця 2. Вміст основних жирних кислот у конопляній олії*

Жирна кислота	Масова частка жирної кислоти, % від загального вмісту
Пальмітинова (C 16:0)	6,16±0,15
Пальмітолеїнова (cis-7-C 16:1)	0,11±0,05
Стеаринова (C 18:0)	3,00±0,10
Олеїнова (cis-9-C 18:1)	12,64±0,20
Октадецена (cis-11-C 18:1)	0,77±0,15
Ліолева (cis, cis-9,12-C 18:2 $\omega$ -6)	54,02±0,20
$\gamma$ -ліноленова (cis, cis, cis-6,9,12-C 18:3 $\omega$ -6)	2,43±0,20
Арахідова (C 20:0)	0,91±0,05
$\alpha$ -ліноленова cis,cis,cis-9,12,15-C 18:3 $\omega$ -3	17,57±0,20
Стеаридинова (cis, cis, cis-6,9,12,15-C18:4 $\omega$ -3)	Не виявлено
Гадолеїнова (cis-9-C 20:1)	0,94±0,10
Цетолеїнова (cis-11-C 20:1)	0,43±0,10
Бегенова (C 22:0)	0,35±0,05
Лігноцерінова (C 24:0)	0,15±0,05
Насичені	10,70
Мононенасичені	15,08
Поліненасичені	74,22

Найбільш ефективними антиоксидантами у рослинних оліях є токофероли. Сумарний вміст токоферолів у дослідженій олії становив 47 мг/100 г олії. Аналіз вмісту гомологів токоферолів конопляної олії продемонстрував, що основною фракцією була сума ( $\beta+\gamma$ ) токоферолу, суттєво меншою була частка  $\alpha$ -токоферолу. Одержані дані узгоджуються з результатами, наведеними у [4], де проаналізовано вміст токоферолів в насінні 51 генотипу *Cannabis sativa* L і встановлено, що основним гомологом був  $\gamma$  токоферол.

Таблиця 3. Склад гомологів токоферолів у конопляній олії

Гомолог токоферолу	мг/100 г олії
$\alpha$ -токоферолу	2,4±0,03
$\beta+\gamma$ токоферолу	44,2±0,57
$\delta$ -токоферолу	0,5±0,01
Сума токоферолів	47,1±0,61

Найнижчий оптимум концентрації антиоксидантної активності (10—25 мг %) має  $\alpha$ -токоферол [19]. Оптимальна концентрація для  $\gamma$ -токоферолу знаходиться між 25 і 50 мг/100 г олії, для  $\delta$ -токоферолу — від 50 до 100 мг/100 г олії.

Безпосереднє оцінювання антиоксидантної активності конопляної олії проводили визначенням швидкості гасіння вільних радикалів DPPH. Кінетика реакції гасіння вільних радикалів DPPH конопляною олією порівняно із соняшниковою наведена на рисунку. Розрахована антиоксидантна активність конопляної олії становила 32,1 %, тоді як у соняшникової олії вона була лише 13,0 %.

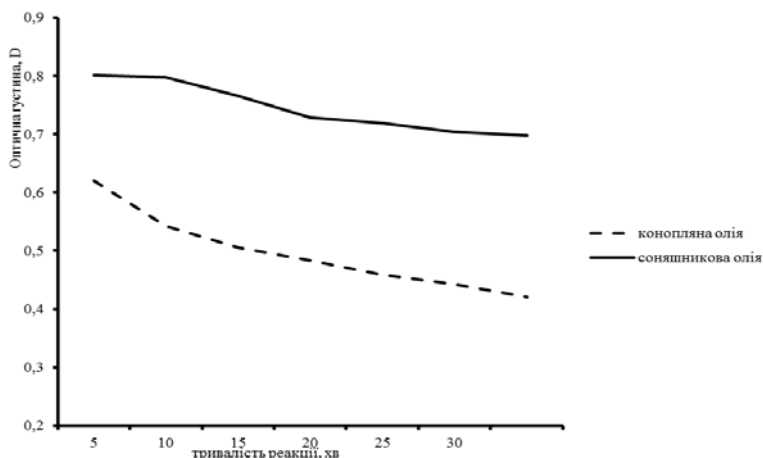


Рис. Кінетика реакції гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH) конопляною та соняшниковою нерафінованою олією

Важливими компонентами рослинних олій є стероли, біологічна активність яких проявляється в тому, що вони є попередниками синтезу деяких вітамінів і гормонів. Встановлено також, що фітостероли інгібують реакції полімеризації в оліях під час термічної обробки [20]. Рослинні олії мають характерні для кожної стероловий склад. Так, наприклад, основними представниками фітостеролів у гарбузовій олії був 7,22,25-стигмастатриєнол та  $\alpha$ -спінастерол, масова частка яких становила понад 50% від загального вмісту стеролів [21]. У той час як у ріпаковій олії основними представниками стеролів були  $\delta$ -ситостерол (52,4%) і кампастерол (35,6%) [22]. Як видно з табл. 4, основним представником стеролів у конопляній олії є  $\beta$ -ситостерол, частка якого в стероловій фракції складала майже 64%. Високим також був вміст кампестеролу та  $\delta$ -5-авенастеролу.

Таблиця 4. Склад стеролової фракції конопляної олії

Назва стерину	Вміст стеролів, мг/кг олії	Масова частка стерину, % від їх загального вмісту
Холестерол	18,7	0,59
Кампестерол	455,8	14,49
Стигмастерол	87,0	2,77
$\Delta$ -7-кампестерол	41,9	1,33
$\beta$ -ситостерол	2004,3	63,73
$\Delta$ -5-авенастерол	343,4	10,92
$\Delta$ -7-стигмастерол	147,8	4,70
$\Delta$ -7-авенастерол	45,9	1,46
Сумарна масова частка стеролів, мг/кг олії	3145	

### Висновки

Встановлено, що олія насіння конопель сорту Глухівські 51 має високу біологічну цінність за рахунок оптимального співвідношення  $\omega$ -6: $\omega$ -3 ПНЖК, яке становило 3,2:1 і відповідає сучасним рекомендаціям щодо здорового харчування. Висока біологічна цінність зумовлюється також високим вмістом токоферолів, які виконують як вітамінну, так і антиоксидантну функцію. Досліджена конопляна олія мала у 2,5 рази вищу антиоксидантну здатність порівняно із соняшниковою олією, а також містила 8 представників фітостеролів, сумарний вміст яких становив приблизно 0,3%.

Проведені дослідження є підставою для відновлення традиції споживання конопляної олії як цінної рослинної олії та джерела біологічно активних речовин і антиоксидантів.

### Література

1. Callaway J. C. Hempseed as a nutritional resource: an overview. *Euphytica*. 2004. 140, 65—72.
2. Callaway J. C. Hemp as food at high latitudes. *J. Industrial Hemp*. 2002. 7(1), 105—117.
3. Da Porto C., Decorti D., Tubaro F. Fatty acid composition and oxidation stability of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide. *Industrial Crops and Products*. 2012. 36, 401—404.

4. Kriese U., Schumann E., Weber W. E., Beyer M., Bruhl L., Matthaus B. Oil content, tocopherol composition and fatty acid patterns of the seeds of 51 *Cannabis sativa* L. genotypes. *Euphytica*. 2004. 137, 339—351.
5. Blade S. F., Ampong-Nyarko K. and Przybylski R. Fatty acid and tocopherol profiles of industrial hemp cultivars grown in the high latitude prairie region of Canada. *J. Industrial Hemp*. 2005. 10(2), 33—43.
6. Scientific opinion of the panel on dietetic products, nutrition and allergies on a request from European Commission related to labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. *The EFSA Journal*. 2009. 1176, 1—11.
7. Nosenko T., Shemanskaya E., Bakhmach V., Sidorenko T., Demydova A., Berezka T., Arutyunyan T., Matukhov D. New vegetable oil blends to ensure high biological value and oxidative stability. *Easten-European Journal of Enterprise Technolohies*, 2017, №5/6(89), p.42—47.
8. Teh S. S., Birch J. Physicochemical and quality characteristics of coldpressed hemp, flax and canola seed oils. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013. 30, 26—31.
9. Matthaus B., Bruhl L. Virgin hemp seed oil: An interesting niche product. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2008. 110, 655—661.
10. Callaway J. C., Schwab U., Harvima I., Halonen P., Mykkanen O., Hyvonen P., et al. Efficacy of dietary hempseed oil in patients with atopic dermatitis. *Journal of Dermatological Treatment*. 2005. 16(2), 87—94.
11. Chow C. K. Fatty acid in foods and their health implications (3rd ed.). New York: Marcel Dekker. 2008.
12. Ross S. A., ElSohly H. N., ElKashoury E. A., ElSohly M. A. Fatty acids of *Cannabis* seeds. *Phytochemical Analysis*. 1996. 7, 279—283.
13. Marinko Petrovic', Z'eljko Debeljak, Nataša Kezic', Petra Dz'idara. Relationship between cannabinoids content and composition of fatty acids in hempseed oils. *Food Chemistry*. 2015. 170, 1, 218—225.
14. Жири та олії тваринні й рослинні. Аналізування методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот (ISO 5508:1990, IDT): ДСТУ ISO 5508-2001. [Чинний від 2003-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 15 с. (Національні стандарти України).
15. Жири та олії тваринні і рослинні. Приготування метилових ефірів жирних кислот (ISO 5509:2000, IDT): ДСТУ ISO 5509-2002. [Чинний від 2003-01-10]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 27 с. (Національні стандарти України).
16. Жири та олії тваринні і рослинні. Визначання складу стеринової фракції. Газохроматографічний метод (ISO 6799:1991, IDT): ДСТУ ISO 6799-2002. [Чинний від 2003-01-04]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 13 с. (Національні стандарти України).
17. Продукти харчові. Визначення вмісту вітаміну Е методом рідинної хроматографії високороздільної здатності. Вимірювання  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -токоферолів (EN12822:2000, IDT): ДСТУ EN 12822:2005. Введ. в дію 01.07.2006. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 20 с.
18. Левчук И. В., Кищенко В. А., Ефименко С. Г. Определение токоферолов в маслах масложиродержащих продуктах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. Краснодар: ВНИИМК. 2007. 137, 2. 35—38.
19. Huang S. W., Frankel E. N., German J. B. Antioxidant Activity of  $\alpha$  and  $\gamma$ -Tocopherols in Bulk Oils and in Oil-in-Water Emulsions. *J. Agric. Food Chem.* 1994. 42. 10, 2108—2114.
20. O'Brien, Richard D. Fats and oils: formulating and processing for applications / by Richard D. O'Brien. 2004. CRC Press, Boca Raton. 574 p.
21. Носенко Т. Т., Вовк Г. О., Королюк Т. А., Голубець О.В. Вплив попередньої ферментативної обробки насіння на склад пресової гарбузової олії. *Наукові праці НУХТ*. 2018. 24(5), 244—251.
22. Voloshchenko T., Nosenko T. Estimation of biological value of low erucic and low glucosinolates rape seed proteins. Global and Local Challenges in Food Science and Technology: 3rd NEEFood Congress, 20—23 May 2015. Brasov, Romania, 2015. 197.

УДК 637.5(075.8)

EXPRESS METHOD OF HYGIENIC QUALITY CONTROL  
OF THE IMPROVED TECHNOLOGICAL PROCESS  
OF PREPARATION OF MEAT CHOPPED SEMI-FINISHED  
PRODECTS WITH PLANT RAW MATERIALS

**M. Paska**

*Lviv State University of Physical Culture*

**O. Masliichuk**

*Lviv College of Soft and Dairy Industry National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Hygienic control  
Chopped semi-finished  
products  
Vegetable raw materials  
Luminometer  
Technological process*

**ABSTRACT**

One of the methods for improving the HACCP system in enterprises and restaurants is the 3M (USA) Clean Trace monitoring system, which includes a luminometer, swabs (ATP tests), and software. The main task of this system is to control the washing of equipment and sanitary and hygienic condition of the enterprise. The purpose of this work is to carry out an express method for determining the hygienic quality control of an advanced technological process of preparation of meat chopped semi-finished products with vegetable raw materials.

The 3M Clean-Trace™ system allows to quantify the degree of cleanliness of your equipment by the ATP level. When controlling the purity of the surface make a wash on the surface constantly twisting the open test strip, close it and pendulum-shake for 15 seconds, then activate the test with a single tap and within 1 minute measure ATP per luminometer.

To determine the hygienic quality control of the advanced technological process of preparation of meat chopped semi-finished products with vegetable raw materials under the conditions of GP PRO100HUB it was used Clean-Trace™ NG luminometer, and it was determined the hygiene of 7 points of the technological process. It was determined that the luminometer did not exceed 1.808 RLU.

The rapid method of hygienic quality control of the technological process of preparation of minced meat semi-finished products with vegetable raw materials showed that the luminometer parameters within the limits — clean, which confirms the observance of all hygienic norms of the advanced technological process.

---

**Article history:**

Received 16.09.2019  
Received in revised form  
01.10.2019  
Accepted 16.10.2019

---

**Corresponding author:**

**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-21

---

## ЕКСПРЕС-МЕТОД ГІГІЄНИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ М'ЯСНИХ ПОСІЧЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З РОСЛИННОЮ СИРОВИНОЮ

**М. З. Паска**

*Львівський державний університет фізичної культури*

**О. Б. Маслійчук**

*Львівський коледж м'ясної та молочної промисловості*

*Національного університету харчових технологій*

*Одним із методів удосконалення системи НАССР на підприємствах та у закладах ресторанного господарства є система моніторингу Clean Trace компанії 3M (США), яка включає прилад люмінометр, сваби (АТФ-тести), а також програмне забезпечення. Основне завдання цієї системи полягає в контролі миття обладнання та санітарно-гігієнічного стану підприємства.*

*У статті описано застосування експрес-методу для визначення гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною.*

*Система 3M Clean-Trace™ дає змогу кількісно визначити ступінь чистоти обладнання за рівнем АТФ. При контролі чистоти поверхні роблять змив по поверхні, постійно покручуючи відкриту тест-смужку, закривають її і маятниково похитують протягом 15 с, потім тест активують одним натисканням і протягом 1 хвилини вимірюють АТФ на люмінометр.*

*Для визначення гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною в умовах ГП PRO100HUB використано люмінометр Clean-Trace™ NG та визначено гігієнічність семи точок технологічного процесу. Встановлено, що показник люмінометра не перевищував показник 1,808 RLU.*

*Експрес-метод гігієнічного контролю якості технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною засвідчив, що показники люмінометра в межах норми (чисто), що підтверджує дотримання всіх гігієнічних норм удосконаленого технологічного процесу.*

**Ключові слова:** *гігієнічний контроль, посічені напівфабрикати, рослинна сировина, люмінометр, технологічний процес.*

**Постановка проблеми.** Якість продукції — це ціна довготривалого та впевненого існування на харчовому ринку в умовах жорсткої конкуренції. Кожен виробник бореться за свого споживача, створюючи унікальні продукти. Гарантувати якість та безпеку своєї продукції можливо лише при застосуванні комплексного підходу до виробничого процесу із залученням усіх підрозділів підприємства. Маркування спеціальною позначкою багатьох продуктів свідчить про сертифікацію виробництва згідно із системами ISO або НАССР. Це абсолютно відповідає вимогам щодо розширення ринків збуту продукції, але також підштовхує до підняття рівня виробничої культури

підприємства та постійного вдосконалення існуючих стандартів на підприємстві [1]. Одним із методів вдосконалення системи НАССР на підприємствах та у закладах ресторанного господарства є система моніторингу Clean Trace компанії 3M (США), яка включає прилад люмінометр, сваби (АТФ-тести), а також програмне забезпечення. Основне завдання цієї системи полягає в контролі миття обладнання та санітарно-гігієнічного стану підприємства [2]. Моніторинг у системі НАССР передбачає вимірювання технологічного параметра в ККТ (контрольній критичній точці) і порівняння отриманих даних із критичними межами. Тож експрес-метод гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу виробництва харчової продукції є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В кінці 1980-х рр. на основі явища біоломінісценція був запропонований експрес-метод оцінки біологічного забруднення різних поверхонь і води, який відразу ж набув широкого поширення в харчовій промисловості [2].

На сьогодні люмінометри широко застосовують у таких галузях, як молокопереробна промисловість — для визначення чистоти молокопроводів, молочних цистерн, теплообмінного обладнання, резервуарів, а також для моніторингу гігієнічного стану технологічного устаткування (сирних ванн тощо); пивобезалкогольна промисловість — для контролю чистоти технологічного устаткування (бродильних резервуарів, танків, купажних ємностей, фільтрів, сепараторів, теплообмінників, пастеризаторів, розливних автоматів, кеїв тощо); м'ясопереробна промисловість — для контролю чистоти технологічного обладнання, обробних столів, тари, пакувального матеріалу, ліній фасування тощо; сільське господарство — для оцінки якості води при випоюванні тварин і птахів та визначення чистоти устаткування в інкубаторіях [3]. Також на підприємствах молочної промисловості визначення ступенів АТФ-забруднення є доцільним для систем СІР-мийки, змивних рідин, робочих поверхонь, інвентарю, тари, рук персоналу [1].

Люмінометри 3M™ Clean-Trace™ успішно використовують лідери ринку серед підприємств харчової промисловості більше 10 років. Прилад визначає кількість АТФ (аденозинтрифосфору) на поверхнях або в змивній воді. Кількість АТФ вказує на ступінь забруднення органічними залишками і мікроорганізмами. Накопичення органічних залишків провокує розвиток мікроорганізмів у технологічних лініях [4].

На основі інформації, зібраної з попередніх двадцятирічних досліджень харчової промисловості, біоломінісценція аденозинтрифосфату (АТФ) [5; 6], дослідники почали використовувати АТФ для визначення чистоти лікарняних поверхонь, наступним чином знезараження [7—9]. Біоломінісценція АТФ не могла ідентифікувати види, проте вона має потенціал показати, чи був наявний такий організм, як *B. Anthracis* [10].

Такий вид вид аналітичного збору інформації відповідає принципам НАССР, а також передбачає постійне удосконалення процесу виробництва згідно з концепцією, що передбачає ідентифікацію, оцінку й управління небезпечними факторами, які впливають на безпечність продукції.

**Мета дослідження:** проведення експрес-методу для визначення гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною.

**Матеріали і методи.** Система 3M Clean-Trace™ включає прилад — люмінометр і тест-системи для визначення АТФ (аденозон-трифосфату). АТФ міститься в усіх живих клітинах — рослинних, тварин і клітинах мікроорганізмів. Саме тому АТФ є інтегральним показником чистоти. АТФ взаємодіє з ферментом люциферин-люциферази, який входить до складу тест-системи [2; 4].

При взаємодії даного ферменту з АТФ відбувається емісія світла, яка реєструється люмінометром. За інтенсивністю світіння можна оцінити ступінь забруднення поверхні. Чим вищий ступінь світіння, тим більш забруднена поверхню. Інтенсивність світіння виражається у відносних світлових одиницях (RLU) і прямо пропорційна ступеню забруднення зразка. Система 3M Clean-Trace™ дає змогу кількісно визначити ступінь чистоти обладнання за рівнем АТФ. Прилад може визначати як ступінь чистоти поверхні, так і ступінь чистоти змивної рідини. При контролі чистоти поверхні спочатку беруть змив по поверхні, постійно покручуючи відкриту тест-смужку, закривають її і маятниково похитують протягом 15 с, потім тест активують одним натисканням і протягом хвилини вимірюють АТФ на люменометр [4].

**Викладення основних результатів дослідження.** Удосконалення технології м'ясних посічених напівфабрикатів з використанням рослинної сировини передбачає розгляд принципової технології та раціональні способи її покращення.

Умовно процес виготовлення м'ясних посічених напівфабрикатів може бути розділено на три етапи.

На першому етапі відбувається механічна кулінарна обробка (МКО) сировини. Для м'яса МКО передбачає видалення неїстівних частин сировини, грубої сполучної тканини, миття, нарізання на шматки. МКО додатково сировини полягає у видаленні неїстівних частин сировини (лушення цибулі), санітарно-гігієнічній обробці, замочуванні хліба у воді або молоці.

Мета другого етапу — виготовлення продукту, тобто формування котлетної маси та напівфабрикатів з неї. Для цього сировинні компоненти після МКО подрібнюють на м'ясорубці, перемішують отриману фаршеву масу з підготовленою рослинною сировиною, додають смако-ароматичні компоненти, знову подрібнюють з подальшим перемішуванням, вибивають і формують вироби.

Третій етап передбачає зберігання напівфабрикатів і термічну обробку до кулінарної готовності, підготовку продукції до реалізації.

Апаратурно-технологічна схема виробництва м'ясних посічених напівфабрикатів: холодильна шафа; мийна ванна; виробничий стіл для підготовки сировини; вага; м'ясорубка; гастроємність для замочування хліба; виробничий стіл для підготовки рослинної сировини; міксер; гастроємність для

перемішування фаршу; виробничий стіл для приготування н/ф; ваги; гастроємність для панірування; вакуумуватор; морозильна шафа.

Для визначення гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною в умовах ГП PRO100HUB використано люмінометр Clean-Trace™ NG (рис.), завдяки якому визначено гігієнічність семи точок технологічного процесу: виробничий стіл; чаша м'ясорубки; решітка м'ясорубки; гасгостороемність для перемішування та вибивання фаршу; дошка для формування напівфабрикатів; бповерхня на вагах; руки працівника.



**Рис. Люмінометр Clean-Trace™ NG**

У таблиці представлені результати гігієнічного контролю якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною.

**Таблиця. Гігієнічний контроль якості удосконаленого технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною**

Показник	Точки технологічного процесу						
	виробничий стіл	чаша м'ясорубки	решітка м'ясорубки	гасгостороемність для перемішування та вибивання фаршу	дошка для формування напівфабрикатів	бповерхня на вагах	руки працівника
RLU	1,442	1,771	1,692	1,808	1,355	1,506	1,237

За аналізом результатів встановлено, що найвищим є показник 1,808 RLU у точці гасгостороемність для перемішування та вибивання фаршу, а найменший показник — 1,237 RLU — руки працівника. Результати підтверджують, що в

ГП PRO100HUB дотримуються санітарних норм і використовують дезінфікуючі засоби та удосконалений технологічний процес.

### Висновки

Експрес-метод гігієнічного контролю якості технологічного процесу приготування м'ясних посічених напівфабрикатів з рослинною сировиною засвідчив, що показники люмінометра в межах норми (чисто). Це підтверджує дотримання всіх гігієнічних норм удосконаленого технологічного процесу.

### Література

1. Методологія управління якістю. Свіжий погляд на технології харчової безпеки. *Молочная индустрия*. 2014. № 2. С. 46—47.
2. Бекетов, С. В., Харламов, К. В., Калупина Ф. П. Экспресс-метод определения санитарно-химического качества кормов для пушных зверей / Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 31 июля 2014 г. Часть 2. Тамбов 2014. С. 21—22.
3. Євлаш В. В., Самойленко С. О., Отрошко Н. О., Буряк І. А. Експрес-методи дослідження безпечності та якості харчових продуктів. Навчальний посібник. Х.: ХДУХТ. 2016. С—336.
4. Руководство пользователя 3М: <http://multimedia.3m.com/mws/media/9211250/3m-clean-trace-ngi-luminometer-user-manual-russian.pdf>
5. Poulis J. A., de Pijper M., Mossel D. A., Dekkers P. P. Assessment of cleaning and disinfection in the food industry with the rapid ATP-bioluminescence technique combined with the tissue-fluid contamination test and a conventional microbiological method. *Int. J. Food Microbiol.* 1993, 20, 109—116.
6. Shama G., Malik D. J. The uses and abuses of rapid bioluminescence-based ATP assays. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2013, 216, 115—125.
7. Mulvey D., Redding P., Roberston C., Woodall C., Kingsmore P., Bedwell D., Dancer S.J. Finding a benchmark for monitoring hospital cleanliness. *J. Hosp. Infect.* 2011, 77, 25—30.
8. Smith P. W., Gibbs S. G., Sayle H., Hewlett A., Rupp M. E., Iwen P. C. Observations on hospital room contamination testing. *Healthc. Infect.* 2013, 18, 10—13.
9. Smith P. W., Sayles H., Hewlett A., Cavalieri R. J., Gibbs S. G.; Rupp M. E. A study of three methods for assessment of hospital environmental cleaning. *Healthc. Infect.* 2013, 18, 80—85.
10. Gibbs S. G., Sayles H., Colbert E.M., Hewlett A., Chaika O., Smith P.W. Evaluation of the Relationship between the Adenosine Triphosphate (ATP) Bioluminescence Assay and the Presence of Bacillus anthracis Spores and Vegetative Cells. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2014, 11, 5709—5719.

УДК 665.3.094.3.097.8:[634.8:631.53.01]

## ANTIOXIDANT PROPERTIES OF OILS OBTAINED FROM DIFFERENT GRAPESEED VARIETIES

**Ye. Kotliar, N. Tkachenko, K. Zdorenko**

*Odessa National Academy of Food Technologies*

**I. Radzievska**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Grapeseeds*

*Varieties*

*Oil*

*Antioxidant properties*

*Biologically active agents*

---

**Article history:**

Received 09.09.2019

Received in revised form

19.09.2019

Accepted 11.10.2019

---

**Corresponding author:**

Ye. Kotliar

**E-mail:**

yevhenii11@ukr.net

**ABSTRACT**

---

Today, a prospective raw material for the food, pharmaceutical, and beauty industries is grapeseed oil. Its high biological value is due to a complex of biologically active agents. The most important of these are bioflavonoids and a vitamin group. Besides, this valuable raw materials source contains fatty acids.

The review of literature allowed to establish that analysed grape varieties are a source of raw materials for grapeseed oil, and that the composition of its lipid complex depends on the method of obtaining oil from grapeseeds and on the grape variety.

Besides, it has been proved that it is prospective to study the grapeseeds from grapes grown in Odessa Region, of the following varieties: Cabernet, Moldova, Muscat Blanc, and Isabella (Lydia), as these are the varieties most commonly used in the region's wine industry. Besides, using them is going to help to solve the problem of utilising the wine industry's wastes.

The technology of obtaining fat-and-oil products from grapeseeds has been studied, as well as the ways of using them.

Data from literature has been obtained about the sensory characteristics of grapeseed oil, about its output from each grape variety, and about determining the quality of grapeseed oil by their fatty acid content and phenolic compounds.

As grapeseed oil is rich in phenolic compounds, it has been established that it has antioxidant and bactericidal properties. It has been studied how oils with antioxidant properties effect on physical and chemical parameters and oxidation, on the dynamics of microbiological processes typical for certain products, and on extension of meat products shelf life.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-22

---

## АНТИОКИСЛЮВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ОЛІЙ, ОТРИМАНИХ З РІЗНИХ СОРТІВ ВИНОГРАДНОГО НАСІННЯ

Є. О. Котляр, Н. А. Ткаченко, К. С. Здоренко  
Одеська національна академія харчових технологій

І. Г. Радзівська  
Національний університет харчових технологій

*Нині перспективною сировиною для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловостей є олія з насіння винограду. Її висока біологічна цінність визначається комплексом біологічно активних речовин, серед яких найважливішими є біофлавоноїди, група вітамінів. Крім того, до складу цього цінного сировинного джерела входять жирні кислоти.*

*На основі літературного огляду встановлено, що проаналізовані сорти винограду — джерело сировини для отримання олій з виноградного насіння, а склад ліпідного комплексу у ній залежить від способу добування з виноградного насіння і сорту винограду.*

*Також доведено, що перспективними є дослідження виноградного насіння, отриманого з вирощеного в Одеському регіоні таких сортів винограду, як Каберне, Молдова, Мускат Білий і Лідія, тому що ці сорти найчастіше використовуються у виноробній промисловості регіону. Це ще й вирішить проблеми у виноробній галузі з відходами власного виробництва.*

*Вивчено технологію отримання з насіння винограду олійно-жирової продукції та її застосування. Отримано літературні дані щодо сенсорних характеристик олій з виноградного насіння, кількості виходу з кожного сорту виноградного насіння та ідентифікації якості олій з виноградного насіння за жирнокислотним складом і фенольними сполуками.*

*Завдяки високому вмісту в оліях з виноградного насіння фенольних сполук встановлено наявність у них антиокислювальних і бактерицидних властивостей. Вивчено вплив олій з антиоксидантними властивостями на фізико-хімічні показники та окислювальні процеси, динаміку мікробіологічних процесів, характерних для різних продуктів, і подовження терміну зберігання м'ясних продуктів.*

**Ключові слова:** *виноградне насіння, сорти, олія, антиокислювальні властивості, біологічно активні речовини.*

**Постановка проблеми.** Харчова промисловість є однією з найважливіших галузей харчової індустрії України. Від рівня її розвитку, стабільності і функціонування залежить стан економіки та безпеки держави, рівень життя населення. Підприємства олійно-жирового комплексу входять до першої п'ятірки галузей харчової промисловості за обсягами виробництва.

Галузь виробництва олій в Україні — потужний агропромисловий комплекс, який об'єднує виробників насіння та олійно-жирової продукції. За відносно короткий період олійно-жировий комплекс України відновив і збіль-

шив свій виробничий потенціал. На підприємствах впроваджуються новітні технології, підвищується якість та оновлюється асортимент продукції [1].

Олія з виноградного насіння — це продукт переробки насіння винограду культурного, яке раніше йшло у відходи. Вид виведений за кілька тисячоліть до нашої ери з дикорослого лісового винограду [2]. Зараз культурні сорти, яких налічується близько 8000, вирощують у зонах помірного і субтропічного клімату на всіх континентах.

Насіння (кісточки) винограду складають до 30% обсягу макухи, що утворюється при виробництві вина і соку. Їх відокремлюють від решти маси, сушать і подрібнюють, щоб зруйнувати тверду оболонку. Потім переходять безпосередньо до отримання олії, що можливо декількома способами.

Науково-практичні дослідження зарубіжних і українських вчених, проведені в останній час, розширюють можливості використання олії з виноградного насіння як повноцінного компонента в харчових і діабетичних продуктах, а також її застосування в медицині і косметичній промисловості.

**Мета статті:** дослідження виноградного насіння різних сортів і виявлення його регіональних особливостей.

**Викладення основних результатів дослідження.** Сучасний олійно-жировий комплекс держави включає 32 великих спеціалізованих олійно-жирових підприємства та майже тисячу невеликих підприємств. Вони виготовляють різноманітну олію: нерафіновану, гідратовану, рафіновану, дезодоровану, недезодоровану тощо. За даними асоціації «Укроліяпром» сумарна потужність олійно-жирових підприємств перевищує 10 млн тонн переробки тільки насіння соняшнику в рік. За відносно короткий період олійно-жировий комплекс України значно відновив і збільшив свій виробничий потенціал. На підприємствах впроваджуються новітні технології, підвищується якість та оновлюється асортимент продукції. Значний попит на олійно-жирову продукцію України викликало надходження інвестицій в олійно-жирову галузь. Було побудовано нові заводи у Дніпропетровській, Кіровоградській, Донецькій, Одеській, Запорізькій та Миколаївській областях з переробки олійно-жирової сировини. Значну частину підприємств було реконструйовано [3].

Сучасний стан олійно-жирової промисловості України характеризується тим, що вона за короткий строк інтегрована у світовий ринок, враховуючи, що лише 20% виготовленої рослинної олії споживається в Україні, а решта йде на експорт. При цьому споживання рослинних олій у 2018 році на одного мешканця України, за даними Держкомстату України, склало 15,4 кг, що відповідає середньоєвропейському рівню споживання рослинних олій і перевищує раціональну норму споживання, яка складає 13,0 кг на рік [4].

Перспективними джерелами біологічно активних ліпідів, білків і мікроелементів можуть служити нетрадиційні види рослинної сировини з високим їх вмістом, до яких відносять і виноградне насіння. Також використання насіння винограду для виготовлення олії — це не тільки нова продукція в асортименті рослинних олій, а ще й можливість впроваджувати безвідходне виробництво для виноробної галузі.

У виноробній промисловості, при первинній переробці винограду, відходи складають до 20% (вичавки, гребені, дріжджові осадки). Більшість закордонних виноробних підприємств переробляють вичавки на спирт (50—80%) [5] та іншу продукцію.

Великі промислові виноградники України зосереджені переважно в Одеській, Херсонській, Миколаївській, Закарпатській областях та в Автономній Республіці Крим. Разом вони виробляють 90% від загального обсягу винограду в країні [6].

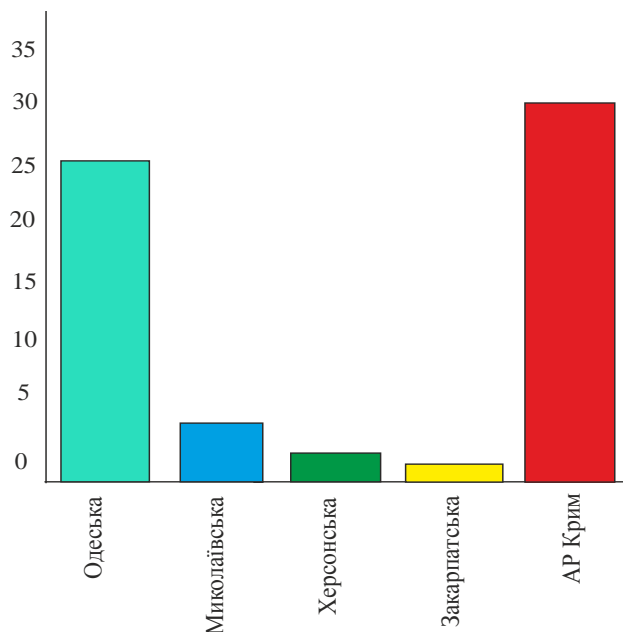


Рис. 1. Плодоносні площі винограду в областях України

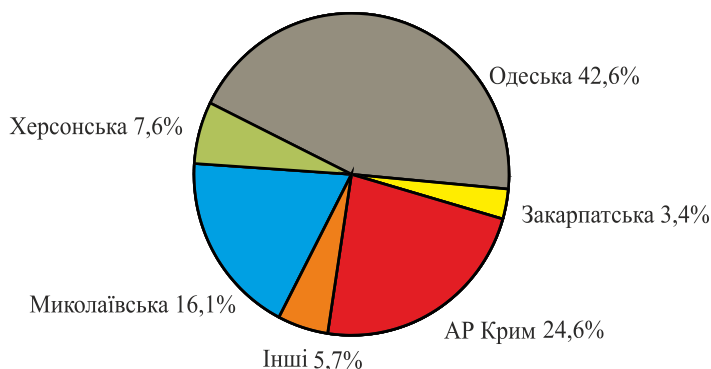
Виноградарство як галузь сільського господарства, що займається вирощуванням винограду, існує і розвивається головним чином відповідно до запитів виноробства. Всього близько 10% виробленого у світі винограду споживають у свіжому вигляді, близько 6% використовують для сушіння (родзинки, кишмиш), а на виноматеріали переробляють близько 84% світового збору винограду [7]. Виноробство завжди було важливою галуззю агропромислового комплексу України [8].

Виробництво з виноградної ягоди соку і виноробної продукції є джерелом формування вторинної сировини — виноградної насіння й оболонки, що містять цінну олію і біологічно активні речовини.

На виноробних виробництвах використовують різні сорти винограду, що зумовлено різним складом цукру та структурою м'якоті. Тому на виході можна отримати готову продукцію різного кольору та смаку [9].

Мускат білий — виноград, що використовується для приготування високоякісних десертних вин на Південному березі Криму та у Вірменії. Виноград, сушло та молоде вино мають дуже інтенсивний і приємний мускатний аромат.

Мускат білий збирають пізно при високій цукристості. Мускат білий дає чудове за якістю вино — «Мускат ігристий», прообразом якого є знамените італійське «Асті Спуманте» [10].



**Рис. 2. Виробництво виноматеріалів в областях України за 2018 р., %**

Сапераві — грузинський сорт винограду пізнього періоду дозрівання, що отримав свою назву (Сапераві, тобто фарбувальник) завдяки великій кількості в його ягодах барвників. На відміну від більшості червоних сортів винограду ягода Сапераві має світло-рожевий сік. З нього готують високої якості столові, десертні і міцні вина, а також виноматеріали для червоного ігристого. Дозрівання винограду сорту Сапераві значно випереджає дозрівання винограду болгарського сорту Гимза, а цукристість першого вища на 3...5%. Титрована кислотність Сапераві також більш висока. Густина забарвлення, висока екстрактивність вин сорту Сапераві роблять їх дуже цінним купажним матеріалом: 10% Сапераві цілком достатньо, щоб поліпшити екстрактивність, кислотність і забарвлення столових і десертних вин з винограду сорту Гимза.

Шардоне — сорт французького походження. Він є в Україні, Грузії, Росії і Молдові, хоча не дуже поширений через низьку врожайність. Однак виноматеріал з Шардоне є прекрасним купажним матеріалом. У Франції Шардоне вважається кращим сортом винограду для приготування білих вин [11].

При первинній переробці винограду на заводах насіння винограду є важливою частиною вичавок, що складає 38...52% сухої речовини. У зв'язку з цим насіння винограду часто називають значними сільськогосподарськими та промисловими відходами. Побічні продукти, отримані після виробництва вина, насіння і вичавки, являють собою дешеве джерело антиоксидантних сполук.

У 100 грамах виноградного насіння міститься:

- мінералів: кальцію — 10 г; фосфору — 20 г; магнію — 7 г; калію — 0,19 г; натрію — 2 г;
- вітамінів: Е — 0,19 мг; А — 0,01 мг; С — 10,8 мг; РР — 0,19 мг;

- інших корисних речовин: фтор, селен, амінокислоти, насичені і ненасичені жирні кислоти;

- приблизна калорійність — 63 кілокалорії [12].

Встановлено, що хімічний склад і якість виноградного насіння залежать від сорту винограду, агротехніки вирощування і способу виділення його з вичавок.

Наприклад, найбільш високим вмістом олії відрізняється виноградне насіння сорту Аліготе — 19,5%, найменшим — виноградне насіння сорту Каберне — 11,2%.

Таблиця 1. Показники якості насіння з різних сортів винограду

Сорти винограду	Показники якості	
	Вологість,%	Олійність,%
Б'янку	5,4±0,01	17,3±0,01
Рислінг	5,4±0,01	18,8±0,01
Совіньйон	5,2±0,01	18,6±0,01
Мускат квітковий	5,7±0,01	15,4±0,01
Ізабелла рожева	6,1±0,01	14,1±0,01
Молдова	5,8±0,01	18,5±0,01
Сапераві	6,2±0,01	16,2±0,01
Каберне	5,9±0,01	11,2±0,01

Олія, отримана з вичавок винограду, відрізняється підвищеною кислотністю, високим вмістом неомилених ліпідів і дуже темним забарвленням. Її використовують тільки для технічних цілей. Олія вищої якості, придатна для харчових цілей. Її отримують при переробці виноградного насіння, яке виділяють з вичавок безпосередньо на виноробних заводах.

Донедавна олія з виноградного насіння застосовувалася в основному для технічних цілей у лакофарбовій і хімічній промисловості. Однак все частіше з'являються відомості про олію з виноградного насіння як про повноцінний харчовий і дієтичний продукт, а також про його успішне застосування у медицині і парфюмерно-косметичній промисловості [13].

Виробництво олії з виноградного насіння проводять двома способами: холодним пресуванням і хімічним екстрагуванням. Олію вищої якості, придатну для харчових цілей, отримують при переробці виноградного насіння, яке виділяють з вичавок безпосередньо на виноробних заводах. Вичавки з цією метою піддають негайній промивці від екстрактивних речовин, сушать до вологості 11—12%, піддають грубому розтиранню для відділення сухої оболонки виноградних ягід, потім відділяють очищене насіння. Класичний спосіб отримання олії з виноградного насіння — пресовий спосіб [14; 15]. Технологічний процес при переробці виноградного насіння пресовим способом складається з таких операцій: очищення кісточок від бур'янів, кондиціонування насіння (сушка до вологості не вище 12%), якщо це необхідно, подрібнення насіння на рифлених і гладких вальцях, підготовки мезги в чанній жаровні, пресування мезги на пресах одноразового-остаточного віджиму типу

експелер. При пресуванні виноградного насіння ефективність виходу олії визначається ступенем його подрібнення і глибиною розтину клітинної структури. Виноградне насіння характеризується специфічною будовою, великою лузжистістю і жорсткістю структури лузги. Тому при підготовці м'ятки до пресування рекомендують високу ступінь її зволоження — до 16% [16]. Отримана олія має зелений колір через підвищений вміст хлорофілу, підвищене значення кислотного числа і продуктів окислення, тому потребує додаткових стадій очищення.

Варто зазначити, що олія виділяється з насіння лише на 27%. Її порівнюють з олією Extra Virgin — нерафінованою олією, що зберігає всі корисні елементи, необхідні для здоров'я людини. Виноградну олію можна використовувати для лікування й оздоровлення всього організму чи як засіб для догляду за шкірою та волоссям. Деяких життєво важливих компонентів (наприклад, таких як, вітамін Е) в олії з виноградного насіння навіть більше, ніж в оливковій олії [16].

Відомий також і спосіб отримання олії з виноградного насіння із застосуванням хімічної активації [17]. Спосіб передбачає подрібнення насіння, обробку реагентом. Як реагент використовують аміноцтову кислоту, гліцин у кількості 0,3—1,0% до маси м'ятки у вигляді водного розчину при постійному перемішуванні протягом 3—5 хв. Далі відбувається волога і теплова обробка та виділення олії методом пресування.

Однак велике значення надається вдосконаленню технологій вилучення олії для пом'якшенні технологічного впливу на сировину. Тому сучасні розробники все більшу увагу приділяють технологіям переробки виноградного насіння методом екстракції. Існуючі технологічні схеми ґрунтуються на екстракції олій такими вуглеводневими розчинниками, як петролейний ефір, гексан або бензини з аналогічними температурами кипіння [15].

Олія з виноградного насіння містить поліненасичену лінолеву кислоту класу Омега-6 (від 50% до 80%), мононенасичену олеїнову кислоту класу Омега-9 (від 15% до 25%) [18], ненасичену пальмітолеїнову кислоту та інші насичені кислоти. Оскільки вміст ліноленової кислоти класу Омега-3, схильної до швидкого окислення, не перевищує 1%, олія з виноградного насіння має досить тривалі терміни зберігання. Крім незамінних жирних кислот, вона містить стероїди, трохи вітаміну Е (приблизно стільки ж у бавовняній і кунжутній оліях), невеликі кількості каротину і кальцію [18].

З табл. 2 видно, що з насичених переважають стеаринова й пальмітинова кислоти; з ненасичених — лінолева й олеїнова. Незалежно від сорту винограду в олії з виноградного насіння максимальний вміст припадає на лінолеву кислоту [9].

Виноградне насіння є багатим джерелом фенольних сполук і, отже, бере участь у значній антиоксидантній активності. У різних сортів насіння фенольний вміст відрізняється [9], тоді як антиоксидантна активність екстрактів виноградного насіння обумовлена головним чином вмістом у них флаваноїдів [9], загальний фенольний вміст складає до 5 г/100 г екстракту.

*Таблиця 2. Жирнокислотний склад олій з насіння різних сортів винограду*

Найменування жирних кислот	Масова частка жирної кислоти, % до загальної суми жирних кислот				
	Сорти винограду				
	Б'янку	Рислінг	Совіньйон	Мускат квітковий	Сапераві
Міристинова C14:0	0,09	0,10	0,14	0,07	0,39
Пальмітинова C16:0	14,59	15,18	19,00	10,07	7,87
Пальмітолеїнова C16:1	0,13	0,18	0,16	0,20	0,44
Стеаринова C18:0	5,48	4,73	11,21	3,38	1,80
Олеїнова C18:1	34,37	32,90	27,26	20,67	27,36
Лінолева C18:2	41,83	43,71	39,19	64,63	61,23
Ліноленова C18:3	1,80	0,97	0,41	0,52	0,898
Арахідова C20:4	0,30	0,31	0,48	0,19	0,22
Ейкозенова C20:1	0,49	0,35	0,23	0,14	0,29
Бегенова C21:0	0,42	0,27	0,33	0,04	0,35

Відомо три різні сорти насіння з білого винограду, вирощеного в Йорданії, з вмістом флаваноїдів від 121,94 до 440,97 мг/100 г насіння, та одинадцять сортів насіння червоного винограду, де флаваноїди варіювалися від 79,2 до 154,6 мг/100 г насіння [9]. Також були досліджені рослинні олії з різних сортів винограду, які вирощують у Китаї [10]. Доведена різниця стабільності і складу жирних кислот і стеринів.

Олія, отримана з насіння різних сортів червоного винограду, вирощених в автономних регіонах Кастилья-Ла-Манча і Мурсія (Іспанія), була досліджена шляхом визначення фізико-хімічних і сенсорних якісних параметрів, стабільності та складу жирних кислот і стеринів. Вивчено флаванольний склад насіння 17 сортів винограду, які вирощують в основних виноробних районах Кастилья-Леон (Іспанія). Були виявлені двадцять сім різних флаваноїдів проціанідинового типу, але проделфінідинів не виявлено. В проаналізованих сортах винограду були також наявні дубильні речовини, але в незначній кількості. Всі сорти містили флаваноїди, що характерно для складу виноградного насіння [11].

Також було доведено, що борошно з виноградного насіння є важливим інгредієнтом, який знижує окислення ліпідів у сосисках. Екстракт виноградного насіння позитивно впливає на окислювальну і мікробну стабільність м'яса баранини [12], може бути фітохімічним засобом проти раку шкіри, має антигіпертензивну дію і розглядається як цінний матеріал природних антиоксидантів. Вторинні побічні продукти і відходи, вироблені в агропромисловому комплексі та харчовій промисловості, ще не повністю економічно використані [12].

У світовій практиці олія з виноградного насіння широко застосовується в косметичі та харчуванні [19].

Як впливає з наведених вище цифр, за вмістом лінолевої кислоти олія з виноградного насіння дуже схожа на олію з негібридних сортів соняшнику і сафлору, тому її прийнято відносити до групи так званих «лінолевих» олій [7].

Добре відомо, що лінолева кислота вважається незамінною. Вона не може синтезуватися в організмі людини через відсутність необхідних ферментів, тому повинна надходити з їжею [19; 20].

Використання олії з виноградного насіння у кулінарії обумовлено декількома причинами. Основною є та, що олія містить багато олеїнової кислоти і за рахунок цього має високу температуру: вона становить 216°C (стільки ж у нерафінованої оливкової олії класу Virgin). Для порівняння: у нерафінованої соняшникової олії температура всього 107°C. Це означає, що олію з виноградного насіння можна використовувати не тільки для заправки салатів, але також і для смаження (в тому числі у фритюрі), і для випічки [8].

Олія з виноградних насіння має здатність регулювати саловиділення, стягує, але не закупорює пори. При сухій шкірі її можна змішувати з іншими базовими оліями у співвідношенні 1:1. Олія з виноградних кісточок має зволожуючу, регенеруючу, протизапальну, в'язучу й омолоджувальну дію [21].

Препарати рослинного походження мінімально негативно впливають на організм, широко застосовуються як засоби лікувально-профілактичної дії та для поліпшення якості життя і в ряді випадків не мають аналогів серед синтетичних лікарських засобів. Тому косметологи використовують олію з виноградного насіння як один з перспективних сировинних компонентів у жирових емульсіях [22].

### Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що перспективними є дослідження виноградного насіння, яке отримане із таких сортів винограду, вирощеного в Одеському регіоні, як: Каберне, Молдова, Мускат білий і Лідія.

Актуальним напрямком дослідження є розробка нових і вдосконалення існуючих технологій отримання та переробки нетрадиційної олієвмісної сировини рослинного походження. Це дає змогу отримати олію з виноградного насіння високої харчової і біологічної цінності. Її можна використовувати в харчовій промисловості, медицині та парфумерно-косметичній промисловості. Завдяки високому вмісту у цій олії фенольних сполук виноградну олію рекомендовано також використовувати у м'ясній промисловості як антиоксидант для подовження терміну зберігання м'ясних продуктів.

### Література

1. Статистичний збірник «Харчова промисловість Одеської області». За редакцією Л. Е. Котвицької. 2010. 65 с.
2. Белоус І. В. Стратегія розвитку виноградарства і виноробства України та передумови виходу їх продукції на світовий ринок. Одеса: ННЦ ІВіВ ім. В. Є. Таїрова. 2015. 204 с.
3. Бондакова М. В. Бугова С. Н. Использование вторичных продуктов переработки винограда в пищевой и косметической промышленности. *Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов и производств: материалы*. Междунар. науч. конф. с элементами научной школы для молодежи. Тверь: Твер. гос. ун-т. 2013. С. 102—105.
4. Батькова И. А., Макарова Н. В. Антиоксидантные свойства косточек винограда. *Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф.* Воронеж. гос. ун-т инж. технол. Воронеж: ВГУИТ. 2014. С. 474—478

5. Ушкаренко В. О., Шевченко І. В., Минкін М. В. Стан та перспективи розвитку галузі промислового виноградарства в Україні. *Таврійський науковий вісник*. Вип. 78. 2012. С. 85—89
6. Офіційний сайт Асоціації «Виноградари та винороби України» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://awwu.org.ua/>.
7. Pardo J. E. Characterization of grape seed oil from different grape varieties (*Vitis vinifera*) [Tekst] / J. E. Pardo, E. Fernández, M. Rubio, A. Alvarruizand, G. Luis, A. Escuela, T. Superior, I. Agrónomos. Albacete, Spain Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2009. 188—193 p.
8. Aybastier Ö. Investigation of antioxidant ability of grape seeds extract to prevent oxidatively induced DNA damage by gas chromatography-tandem mass spectrometry. [Tekst] / Ö. Aybastier, S. Dawbaa, C. Demir. *Journal of Chromatography B*. 2017. 1072—1081 p.
9. Rababah T. M. Total phenolics antioxidant activities, and anthocyanins of different grape seed cultivars grown in Jordan [Tekst] / T. M. Rababah, K. I. Ereifej, M. A. Al-Mahasneh, K. Ismaeal, A.-G. Hidar, W. Yang. *Int. J. Food Prop.* 11. 2008. 472—479 p.
10. Wen X. Characterisation of seed oils from different grape cultivars grown in China [Tekst] / X. Wen, M. Zhu, R. Hu, et al. Published online Jul 20 *J Food Sci Technol* 53 (7). 2016. 3129—3136 p. doi: 10.1007/s13197-016-2286-9.
11. Bozan B. Study of polyphenol content in the seeds of red grape (*Vitis vinifera* L.) varieties cultivated in Turkey and their antiradical activity. [Tekst] / B. Bozan, G. Tosun, D. Özcan. *Food Chem.* 109. 2008. 426—430 p.
12. Пешук Л. В., Носенко Т. Т. Біохімія та технологія олієжирової сировини: навч. посібн. К.: Центр учб. літ-ри. 2011. 296 с.
13. О'Брайен Р. Жиры и масла: Производство, состав и свойства, применение. Пер. с англ. В. Д. Широкова. 2007. 752 с.
14. Паронян В. Х. Аналитический контроль и оценка качества масложировой продукции. М.: ДеЛи принт. 2007. 312 с.
15. Виноградний кадастр України. К.: Мінагрополітики України. 2010. 97 с. Режим доступу: <http://eurowine.com.ua/tmp/kadastr/index.php>.
16. Способ получения масла из виноградной косточки / Тарасов С. В., Мартовщук В. И., Мгебришвили Т. В. и др. Заявка на изобретение RU № 2013114296. Опублик. 10.10.2014. Бюл. № 28.
17. Котляр Є. О. Насіння різних сортів винограду — перспективна сировина в олійно-жировій. 79 наукова конференція викладачів ОНАХТ 16—19 квітня, Одеса. 2019. С. 61—62.
18. Полумбрик М. О., Осипенкова І. І., Котляр Є. О. Фізико-хімічні методи дослідження якості харчових продуктів. О.: ОНАХТ. 2019. 193 с.
19. Українець А. І., Радзівська І. Г., Мельник О. П., Пасічний В. М. Антирадикальна активність гірчичної олії в умовах автоокиснення. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Вип. 3. Т. 24. С. 178—185
20. Радзівська І. Г., Мельник О. П. Исследование окислительной деструкции растительных масел разной степени насыщенности в присутствии токоферола. *Наукові праці НУХТ*. 2016. Вип. 3. Т. 22. 206—217 с.
21. Ткаченко Н. А., Чагаровський О. П., Избаш Є. О., Ланженко Л. О., Котляр Є. О. Новітні інгредієнти для натуральної косметики на основі молочної сироватки. *Наук. праці ОНАХТ*. Вип. 2. Т. 81. Одеса: ОНАХТ. 2018. 87—98 с.
22. Kotliar Ye. Development of technology of vitaminized combined vegetable oils and identification of them on fatty and vitamin composition [Text] / Ye. Kotliar, O. Topchiy, A. Kyshenia, M. Polumbryk, K. Garbazyh, L. Lanzhenko, M. Bogdan, V. Yasko, T. Goncharenko // *Eastern-european journal of enterprise technologies* № 3/11(93) 2018. P. 32—43. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131971.

NEW CHALLENGES TO FOOD INDUSTRY OF UKRAINE  
WITHIN THE STRATEGY OF IMPROVEMENT OF  
NATIONAL HEALTH

**G. Simakhina**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Health  
Nutrition  
Cology  
Food industry  
Adaptation  
Food for well-being*

---

**Article history:**

Received 10.09.2019  
Received in revised form  
24.09.2019  
Accepted 02.10.2019

---

**Corresponding author:**  
Simakhina G.O.

**E-mail:**  
top\_nuft@ukr.net

**ABSTRACT**

---

Today's ecological conditions (environmental pollutions, technogenous disasters, results of people's haphazard activity) expose the biosphere, the habitat for the human and the only source of resources, to lose its ability to self-purification, which would soon subject the mankind to the great ecological catastrophe. Henceforth, the foodstuffs containing the substances to protect the human organism from negative environmental factors are now attaining the essential role.

As Hippocrates believed, it would be quite possible to turn our food into our medicines, in other words — to endow almost all the foodstuffs which people eat with functional properties. To reach this goal today, it is necessary to find the natural sources of the most effective functional ingredients; to research the properties of various biologically active components of foodstuffs (like vitamins, mineral elements, polysaccharides, amino acids, fats etc.) and to elaborate the new technologies to obtain the food products for well-being, particularly for the special stuffs working at the extreme conditions.

The modern medical science unambiguously confirms that human health is beyond the sphere of medicine itself and therefore in the utmost dependence on the quality and the structure of nutrition. So, the responsibility for national health is laid on the food industry, including its novel branch, the well-being food industry. The objectives of this work are to generalize the novelty data about the role of foodstuffs in provision of high standards of health and life quality in Ukrainians; to formulate the main tasks to be solved by domestic food industry in accordance with the requirements of production of food for well-being and the recommendations by the WHO experts, from the viewpoint of problematically oriented approach to embody the main principles of the 21st century nutrition: quality, safety, and effectiveness.

## НОВІ ВИКЛИКИ ПЕРЕД ХАРЧОВОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ УКРАЇНИ В СТРАТЕГІЇ ПОЛІПШЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я

Г. О. Сімахіна

*Національний університет харчових технологій*

*У нинішніх екологічних умовах (забруднення довкілля, техногенні катастрофи, результати необдуманної діяльності людей) біосфера як середовище життя для людини і єдине джерело ресурсів втрачає свою здатність до самоочищення і з часом може поставити населення планети на межу екологічної катастрофи. Тому особливого значення набувають харчові продукти, які містять сполуки, здатні захистити організм людини від негативних чинників довкілля.*

*Практично всім харчовим продуктам, що їх традиційно споживає населення, можна надати функціональних властивостей і таким чином зробити нашу їжу нашими ліками, як мріяв про це ще Гіппократ. Для цього необхідно знаходити природні джерела найбільш ефективних функціональних інгредієнтів; дослідити властивості різних біологічно активних компонентів їжі (вітамінів, мінеральних елементів, полісахаридів, амінокислот, жирів тощо) і розробити нові технології отримання оздоровчих харчових продуктів, у тому числі для спецконтингентів, які працюють в екстремальних умовах.*

*Сучасна медицина однозначно стверджує, що здоров'я людини перебуває поза сферою впливу медицини і найбільшою мірою залежить від якості і структури харчування. Тому відповідальність за національне здоров'я покладається на харчову промисловість і її принципово нову галузь — індустрію здорового харчування. Метою цієї статті є узагальнення сучасних відомостей про роль харчових продуктів у забезпеченні високих стандартів здоров'я і якості життя населення України; формулювання основних завдань, які постали перед вітчизняною харчовою промисловістю відповідно до потреб створення продукції оздоровчого призначення, рекомендацій експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я з точки зору проблемно-орієнтованого підходу до втілення основних принципів харчування XXI ст.: якість, ефективність, безпека.*

**Ключові слова:** *здоров'я, харчування, екологія, харчова промисловість, адаптація, оздоровчі продукти.*

**Постановка проблеми.** Існування і розвиток сучасної людини, яка майже 20 років тому перетнула поріг третього тисячоліття, відбувається в умовах глобальних змін в економіці більшості країн, з одного боку, і деградаційних процесів, пов'язаних з екологією, — з другого. Це загальне забруднення навколишнього середовища, спричинене діяльністю людей, зміни поверхні землі та кліматичних умов, боротьба за природні ресурси, створення штучних умов існування тощо.

Біосфера є середовищем життя для людини і єдиним джерелом ресурсів, необхідних для її існування [1]. Разом з тим, матеріальні потреби людини набули таких масштабів і форм, що біосфера з часом не здатна буде забезпечити нормальне існування людської спільноти, поставивши її на межу екологічної катастрофи [2]. Тим паче, що вже нині обсяги і токсичність техногенних викидів переважають компенсаторні можливості біосфери, яка не зможе в повному обсязі реалізувати механізми самоочищення.

Усі зазначені зміни істотним чином позначились на такій важливій складовій способу життя та необхідній умові існування всього живого на Землі — харчуванні. Це передусім протиріччя між об'єктивною необхідністю знижувати енергетичну цінність раціонів сучасної людини та застарілими уявленнями щодо корисності висококалорійних продуктів, а також фінансовою неспроможністю більшості населення України віддавати перевагу продуктам з екологічно чистої та органічної сировини.

І саме внаслідок цієї обставини широкого розповсюдження набувають так звані «хвороби цивілізації» — ожиріння, діабет, атеросклероз тощо. Це підтверджують і експерти ВООЗ, розглядаючи такі захворювання, як форми неповноцінного харчування. Більше того, за їхніми висновками, понад 80% усіх захворювань дорослих і дітей певною мірою пов'язані з порушеннями аліментарного характеру [3].

Друга видозміна сучасного харчування — доведене десятирічними дослідженнями розуміння того, що нормальне засвоєння і ефективне використання макро- і мікронутрієнтів можливе лише за наявності у необхідних кількостях і співвідношеннях мінерних компонентів (органічних кислот, біофлавоноїдів, коензимів, карнітину тощо), які беруть участь у здійсненні регуляторних функцій організму, гармонізуючи процеси обміну речовин та енергії. Тому одним із викликів перед харчовою промисловістю України є розвиток виробництва збагачених біологічно активними речовинами харчових продуктів. І це має стати реальним втіленням сучасної концепції харчування і її основної тези: «Харчові продукти XXI століття — це якість, безпека та ефективність» [4].

Адже зростання кількості захворювань з переліку «хвороб цивілізації» викликає необхідність дієвих профілактичних заходів; підвищення уваги до реабілітації тих, хто одужує; лікування осіб із хронічними хворобами; раннього корегування передхворобних станів тощо. І у всіх перерахованих випадках харчування як профілактичний, лікувальний, лікувально-профілактичний чинник виходить на перший план. Відповідальність за вирішення цього важливого питання покладається на харчову промисловість та її принципово нову галузь — індустрію здорового харчування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фахівці різних галузей сучасної медичної науки різних країн переконані в тому, що основне джерело здоров'я та довголіття сучасної людини — це правильне, здорове, оптимальне харчування. Тобто здоров'я людини перебуває поза сферою прямого впливу медицини. І якщо синтезувати сучасні уявлення про рушійні сили життєзабезпечення організму людини, то на перший план виходить зміна

способу життя (в широкому розумінні), основною складовою якого є здорове харчування. І ці зміни мають бути настільки масштабними, що з'явився навіть термін «Революція оптимального здоров'я» [5].

Вчені оприлюднили ще один аспект цієї проблеми. Суть його в тому, що в сучасному суспільстві на вибір споживачів тієї чи іншої продукції впливає не стільки академічна наука і рекомендації фахівців, скільки індустріалізація та глобалізація виробництва харчових продуктів, а також реклама у засобах масової інформації.

Це ще більше посилює відповідальність виробників перед споживачами і ставить перед ними черговий виклик — налагодити випуск продуктів спеціального призначення [6].

Основні види таких продуктів: дієтичне лікувальне харчування, дієтичне профілактичне харчування, харчування для спортсменів та інших спецконтингентів, харчування дітей, людей похилого віку, вагітних жінок тощо. Харчова промисловість має орієнтуватись на випуск зазначеної продукції, основною ознакою якої є науково обґрунтований та підтверджений лікувальний або профілактичний ефекти [7].

Тож пріоритетним і найбільш дієвим, перевіреним практикою способом корегування раціонів харчування у загальнодержавному масштабі України є прискорений розвиток індустрії здорового харчування, що, з точки зору медицини, звучить як «дієтологічна допомога населенню» [8].

Роль здорового харчування як дієтичної терапії, адекватного рівню стану здоров'я і характеру метаболічних порушень в організмі людини, узгоджується з одним із основних положень фундаментальної медицини, сформульованим М. Семашком: «Профілактика захворювань — загальнодержавна, а не медична проблема» [9]. Сутність його в тому, що спеціальні харчові продукти, нутрієнтний склад яких адекватний потребам організму в конкретний період життєдіяльності, здатні формувати нові пристосувальні реакції організму, поліпшувати його адаптаційні можливості, активізувати різноманітні чинники гомеостазу [10].

На основі наведених викладок варто ще раз наголосити на тому, що профілактика аліментарних захворювань покладається повністю на продукцію харчової промисловості, її принципово нову галузь — індустрію здорового харчування, що гарантує необхідне нутрієнтне забезпечення, високу ефективність та повну безпеку [11; 12].

Для тієї частини населення України, яка проживає в несприятливих екологічних умовах, для військовослужбовців у зоні ООС, інших спецконтингентів харчові продукти вітчизняних виробників повинні мати ряд додаткових характеристик [13]:

- компенсувати дефіцит біологічно активних компонентів, що виникає під впливом несприятливих чинників довкілля;
- покращувати функціональний стан органів та систем організму;
- поліпшувати захисні функції імунної системи організму;
- підвищувати фізичну спроможність, сприяти посиленню адаптаційних резервів організму і психологічної стійкості в екстремальних ситуаціях;

- прискорювати процеси відновлення метаболічних процесів після підвищених екологічних, фізичних, нервово-емоційних навантажень;
- покращувати самопочуття.

Сукупність названих властивостей свідчить про можливість істотної перебудови метаболічних процесів в організмі за допомогою спеціально підібраної структури харчування [14].

**Мета статті:** узагальнення сучасних відомостей про роль харчових продуктів у забезпеченні високих стандартів здоров'я і якості життя населення України; формулювання основних завдань, які постали перед вітчизняною харчовою промисловістю відповідно до потреб створення продукції оздоровчого призначення, рекомендацій експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я, з точки зору проблемно-орієнтованого підходу до втілення основних принципів харчування XXI століття: якість, ефективність, безпека.

На основі аналізу літературних даних із питань особливостей створення харчових продуктів, адаптованих до сучасних екологічних та соціальних умов життєдіяльності людини, матеріалів Європейського регіонального комітету ВООЗ, результатів власних теоретичних та експериментальних досліджень визначити головні виклики перед харчовиками.

**Викладення основних результатів дослідження.** Переконаливим свідченням впливу харчування на метаболізм є розроблення та використання у сучасній світовій дієтологічній практиці харчових продуктів для спеціальних медичних цілей, а саме — ентерального харчування [15]. Воно передбачає задоволення потреб людини у макро- та мікронутрієнтах шляхом перорального введення або через назогастральний зонд, забезпечуючи енергетичні і пластичні потреби організму зі збереженням функцій шлунково-кишкового тракту при важких станах постраждалих [16].

Науковці кафедри товарознавства та експертизи продуктів Київського національно торговельно-економічного університету, ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О. М. Марзєєва» НАМНУ, кафедри військової хірургії Української військово-медичної академії вперше розробили вітчизняні продукти для ентерального харчування «Реабілакт», «Реабілакт-Д» та ряд інших [17]. І якщо до 2014 р. всі представлені на українському ринку продукти для нутритивної підтримки організму людини були імпортними, то автори розробки довели реальну можливість виробництва високоякісних продуктів для ентерального харчування на вітчизняних підприємствах. Тому і виробникам харчової продукції необхідно враховувати динамічні темпи розвитку оздоровчих продуктів на світовому рівні, дуже незначну частку вітчизняних виробів цієї асортиментної групи, підвищений попит споживачів на таку продукцію і брати безпосередню участь у вирішенні цієї пріоритетної проблеми.

Харчові продукти справляють постійний і щоденний вплив на організм людини протягом її життя, забезпечуючи надходження і засвоєння необхідних нутрієнтів, будучи безпосереднім виявом зв'язку людини з природою. І разом з тим, саме з цих причин продукти являють потенційну небезпеку для споживання [18]. Наприклад, неконтрольоване використання у харчових технологіях штучних добавок, з одного боку, надає готовим продуктам

привабливих органолептичних ознак, а з другого — негативно впливає на стан здоров'я споживачів. Ігнорування медико-біологічних вимог до якості харчових продуктів розширило спектр захворювань, сприяло масштабній фальсифікації продуктів, знижуючи не лише тривалість життя населення, а й його якість. Харчові технології пропонують усе більше продуктів і швидкої їжі з такими добавками, вплив яких на організм людини ще не вивчено.

Тому наступний виклик перед харчовою промисловістю України полягає у необхідності змінити ряд стереотипів вітчизняних виробників, а саме: припинити використання у харчових продуктах, особливо для дітей, штучних добавок — барвників, ароматизаторів, консервантів, підсолоджувача аспартаму та інших небезпечних сполук, замінивши їх натуральними аналогами.

Тотальне погіршення екологічної та епідеміологічної ситуації призвело до масового забруднення продовольчої сировини і готової продукції токсичними сполуками, ураження свійських тварин небезпечними для людини вірусами. Все це потребує дотримання безпечних умов виробництва харчової продукції, використання нових технологій вирощування сільськогосподарської сировини, її перероблення та зберігання, освоєння нових методів діагностики та контролю за якістю продукції, використання екологічно чистої сировини.

З цієї точки зору ще один виклик перед харчовою промисловістю України полягає в тому що, здорове харчування має вироблятися у кількостях, достатніх для забезпечення усіх громадян, і досягти необхідного рівня з точки зору продовольчої безпеки. Тож, лікувально-профілактичне харчування, яке раніше призначали лише окремим категоріям, наприклад тим особам, які працюють у шкідливих умовах, зараз має стати складовою раціону практично всього населення України, 95% якого після 1986 р. проживає на забруднених радіонуклідами територіях.

Сьогодні харчові продукти розглядаються не лише з точки зору їхньої пластичної та енергетичної функції, а й як індикатори стилю життя, чинники позитивних емоцій, краси, здоров'я та довголіття. Крім цього, змінилась мотивація у поведінці споживачів — усе більше попиту на здорові і корисні продукти зі зниженим вмістом солі, цукру, жиру, підвищеним вмістом вітамінів, поліненасичених жирних кислот, харчових волокон, інших біокомпонентів.

Про це свідчить і аналіз світового ринку харчових продуктів, де зараз конкурують два напрями. Перший пов'язаний із використанням штучних добавок суто для технологічних цілей виробництва харчових продуктів і поліпшення їхніх технологічних характеристик. Другий напрям зумовлений попитом споживачів на продукти, корисні для здоров'я, певної функціональної спрямованості, і при виробництві яких використовуються лише натуральні збагачувачі. І цей другий напрям стає превалюючим, що вже характерно для країн Західної Європи, до якого має долучитись і Україна. Тож у зв'язку з цим експерти виділяють на сучасному ринку харчових продуктів тренд натуралізації харчових інгредієнтів-збагачувачів і харчових продуктів.

Високий темп росту виробництва та реалізації натуральних збагачувачів на світовому ринку ілюструється цифрами [19].

- найбільш інтенсивно розвивається виробництво натуральних барвників і середньорічний приріст складає майже 13%; найбільшим попитом користуються куркумін (E 100), барвник жовтого кольору, водо- і жиророзчинний; кармін (E 120) — барвник червоного кольору, водорозчинний і жиродиспергований;  $\beta$ -каротин (E 160a), барвник жовто-оранжевого кольору; водо- та жиророзчинний лютеїн (E 161); водо- та жиророзчинний барвник з групи антоціанів (E 163), барвник червоного кольору; хлорофіл (E 140), барвник зеленого кольору, водо- та жиророзчинний;

- дещо менші темпи росту показує спектр натуральних ароматизаторів — близько 9%. Інтенсивно розвивається сектор виробництва та реалізації функціональних інгредієнтів: пребіотиків, пряно-ароматичної сировини, мінеральних добавок, вітамінів, підсолоджувачів;

- найшвидше зростає сектор пребіотиків: якщо в 2012 р. об'єм світового ринку пребіотиків оцінювали в 2,3 млрд дол. США то в 2018 р. — уже 4,5 млрд. Пребіотики в основному використовують для виробництва дієтичних добавок та продуктів для дитячого харчування. В структурі попиту на пребіотики домінує інулін (40% ринку). На 80% попит на інулін виявляє харчова промисловість, а також виробники дієтичних добавок і кормів для тварин;

- обсяг ринку штучних і натуральних замінників цукру в 2012 р. оцінювався в 10,6 млрд. дол. США, а у 2018 р. — 13,7 млрд дол. США. Приємно зазначити, що на цьому ринку довгий час домінували штучні замінники цукру, та останнім часом тренд усе переконливіше змінюється у бік натуральних замінників.

Світова тенденція до натуралізації харчових інгредієнтів і готових продуктів поширюється також на дедалі більше залучення до сфери харчових технологій місцевої рослинної сировини, в тому числі лікарсько-технічної та дикорослої. Так, у розвинутих країнах обсяги використання місцевих сировинних ресурсів досягають 60%, а на перспективу планується підвищити їх іще на 5%. На жаль, в Україні перероблення рослинної сировини складає менш ніж 20%. Стосовно перероблення плодів та ягід, то тут ситуація ще гірша. Наші виробники отримують із них від 5 до 10% продукції. Основна частка сировини або втрачається, або передається закордонним інвесторам, які мають надприбутки від її перероблення.

Деякі цифри [20]: у 2017 р. в Україні було вирощено 2 500 тис. т плодово-ягідної сировини, а перероблено лише 774 тис. тонн. На 2025 р. планується отримати 4 333 тис. т продукції і переробити 1 300 тис. тонн.

Нераціонально використовуються або втрачаються природні дикорослі рослини, пряно-ароматичні, лікарські, врожай яких в Україні становить до 1,5 млн т щорічно. В результаті держава щороку недоотримує в бюджет мільярди доларів США, а населення — цінні натуральні продукти, в тому числі лікувального і профілактичного призначення, вітаміни, вітамінно-мінеральні комплекси, дієтичні добавки тощо.

Зрозуміло, що вітчизняні виробники вбачають великі фінансові переваги використання штучних добавок різного технологічного призначення у їхній порівняній дешевизні, стабільності, необмежених кількостях. Проте наведений матеріал підтверджує про серйозні зміни структури харчування сучасної людини є необхідною об'єктивною реальністю.

Це спільне завдання медицини і харчових технологій, теоретичною базою вирішення якого стали здобутки принципово нової науки — фармаконутриціології, як узагальнення сучасних знань про роль харчових продуктів у функціонуванні організму людини. Такі зміни реально втілити лише шляхом інтенсивного розвитку індустрії здорового харчування, продукція якої реалізує давні мрії усіх попередніх поколінь про ідеальну їжу, яка водночас є ліками.

### Висновки

В умовах ринкової системи господарювання постійно виникає потреба в розробленні нових та вдосконаленні існуючих технологічних процесів перероблення сільськогосподарської сировини, використанні нових форм і методів організації виробництва, які забезпечують підвищення його ефективності та зростання якості харчової продукції.

Накопичений світовий досвід дає можливість сформулювати ряд основних напрямів розвитку харчової промисловості України для забезпечення населення високоякісними харчовими продуктами оздоровчого, профілактичного, лікувального призначення:

- використання сучасних ощадних технологічних процесів (ресурсо- та енергоощадних), гнучких форм організації виробництва, здатних забезпечувати прискорений перехід до отримання нових конкурентоспроможних харчових продуктів, які мають інноваційне наповнення і користуються підвищеним попитом на ринку;

- широке впровадження методів швидкого освоєння виробництва нових харчових продуктів на інноваційній основі, що позиціонуються як оздоровчі, профілактичні, спеціальні, функціональні тощо;

- розроблення і застосування технічно досконалих систем контролю якості сировини і готової продукції та систем управління якістю;

- забезпечення постійної планомірної ефективної роботи харчового інноваційного підприємства завдяки взаємоузгодженості та взаємозумовленості організаційних, технологічних, економічних, екологічних та соціальних чинників;

- широке залучення до сфери харчових технологій вторинних сировинних ресурсів та нетрадиційної сировини;

- постійне вдосконалення технологій виробництва інноваційної продукції і їх відповідність світовим тенденціям розвитку індустрії здорового харчування.

### Література

1. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. Москва: Наука, 1987. 339 с.

2. Галимов Э. М. Феномен жизни. *Наука в России*. 2003. № 5. С. 36—41.

3. Питание и здоровье в Европе. Новая основа для действий. ВОЗ, 2003. 38 с.
4. Тутельян В. А., Смирнова Е. А. Роль пищевых микроингредиентов в создании современных продуктов питания. Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания. Москва: ДелиПринт, 2014. С. 10—24.
5. Дьюк Джонсон. Революция оптимального здоровья. Киев: ООО «Эмвей Украина», 2008. 326 с.
6. План действий в области пищевых продуктов и питания на 2015—2020 гг. Копенгаген, Дания, Европейский региональный комитет. 2014. 24 с.
7. Смирнова Е. А., Саркисян В. А., Кочеткова А. А. Проблемно-ориентированный персонализированный подход к разработке новых продуктов для коррекции нарушений пищевого статуса. *Пищ. пром-сть*. 2013. № 9. С. 8—12.
8. Здоровье — 2020: основы Европейской политики в поддержку действий всего государства и общества в интересах здоровья и благополучия. Мальта, 2012 (EUR/ RCC 82/9).
9. Орлова Г. Т. Теоретические и организационные вопросы стратегии улучшения функционального здоровья. Тр. междунар. конф. «Наследие Н. К. Рериха». Санкт-Петербург, 2005. С. 147—153.
10. Філімонов В. І. Фізіологія людини в запитаннях і відповідях. Вінниця: Нова книга, 2010. 456 с.
11. Аргументы в пользу инвестиций в общественное здоровье. Краткий доклад по вопросам общественного здравоохранения. Дания: ВОЗ, 2014. 32 с.
12. Українець А. І., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Перспективні технологічні процеси виробництва нових продуктів та дієтичних добавок. Київ: НУХТ, 2018. 335 с.
13. Українець А. І., Сімахіна Г. О., Стеценко Н. О., Науменко Н. В. Нові продукти для раціонів військовослужбовців. Київ: Вид-во «Сталь», 2017. 290 с.
14. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Функціональні зміни в організмі людини в екстремальних умовах та їх біокорегування компонентами харчових продуктів. *Наукові праці НУХТ*. 2017. № 5. С. 94.
15. Лейдерман И. Н. Гиперметаболизм. Метаболические основы. *Вестник интенсивной терапии*. 2009. № 3. С. 62—67.
16. Lochs H., Allison S.P., Meier R et al. Introductory to the ESPEN guidelines on enteral nutrition: terminology, definitions and general topics. *Clinical Nutrition*. 2006. № 5. P. 180—186.
17. Ентеральна нутритивна підтримка населення в умовах надзвичайних ситуацій: монографія / Н. В. Притульська, М. П. Гуліч, Ю. М. Мотузка та ін. Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. 280 с.
18. Мальцева О. Д. Компьютерная программа ГУ НИИ питания РАМН: Анализ состояния питания человека. *Здравоохранение*. 2008. № 2. С. 161—165.
19. Харчові добавки, барвники та консерванти. URL: [http://www.fictionbook.ru/author/bez\\_avtora/pisheviye\\_dobavki\\_krasiteli\\_i\\_konservantiy/](http://www.fictionbook.ru/author/bez_avtora/pisheviye_dobavki_krasiteli_i_konservantiy/) (дата звернення 27.08.2019)
20. Сало І. А., Попова О. П. Розвиток українського ринку плодів і ягід в умовах глобалізації. *Садівництво*. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. 2019. Вип. 74. С. 160—170.

RELEVANCE OF APPLICATION OF OPAL-CHALCEDONE MATERIAL IN THE TECHNOLOGY OF VODKA

L. Tarasuk, S. Oliynyk, V. Prybylskiy  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Liqueur-vodkas industry*  
*Water-alcohol mixture*  
*Filtering*  
*Stability*  
*Efficiency*

---

**Article history:**

Received 03.09.2019  
Received in revised form  
19.09.2019  
Accepted 03.10.2019

---

**Corresponding author:**

S. Oliynyk  
**E-mail:**  
lana\_ol@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The paper offers a method of improving the technology of vodka with the use of unconventional natural mineral opal-chalcedone material and demonstrates the relevance of its use for the water-alcohol mixture filtration.

Quality parameters of natural mineral and water-alcohol mixture before and after its treatment have been determined by standardized methods using physicochemical, capillary electrophoretic and spectrometric methods of analysis, as well as generalization and comparison of experimental results based on the systematic approach.

The physical-mechanical parameters of the opal-chalcedone material and indexes of its preparation for the main filtering cycle are also specialized. Physicochemical characteristics of opal-chalcedone material: mechanical strength — by 2% and intergranular porosity— by 10% higher than the control sample of quartz sand, which positively affects values of sorting purification: oxidation — by 3 minutes and transparency — by 2%. In comparison with the quartz sand control sample, it was determined the effect of purification of the original water-alcohol mixture with the studied material, which is 97% and indicates the prospect of its use in a coal-cleaning battery.

Organoleptic characteristics improvement, optical density reduction, increase in the difference of oxidation in the water-alcohol mixture after filtration with natural opal-chalcedone material indicate the partial removal of organic micro-impurities, that allows to make a conclusion about necessity to deepen the studies in conditions of production during manufacturing vodka products.

The current state of the liqueur-vodka industry requires economic feasibility, rationality and efficiency of the use of materials. Therefore, the study of the water-alcohol mixture filtration with natural unconventional mineral opal-chalcedone material is a promising direction.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОПАЛО-ХАЛЦЕДОНОВОГО МАТЕРІАЛУ У ТЕХНОЛОГІЇ ГОРІЛОК

Л. А. Тарасюк, С. І. Олійник, В. Л. Прибильський

Національний університет харчових технологій

У статті запропоновано спосіб удосконалення технології горілок із застосуванням нетрадиційного природного мінерального опало-халцедонового матеріалу та показано актуальність його застосування для фільтрування водно-спиртової суміші.

Показники якості природного мінералу, водно-спиртової суміші до та після її обробки визначено за стандартизованими методиками із застосуванням фізико-хімічних, капілярно-електрофоретичних і спектрометричних методів аналізу, а також узагальнення і порівняння результатів експериментальних досліджень з використанням системного підходу.

Визначено фізико-механічні показники опало-халцедонового матеріалу та параметри його підготовки до основного циклу фільтрування. Фізико-хімічні характеристики опало-халцедонового матеріалу: механічна міцність — на 2% та міжзернова пористість — на 10% є вищою, ніж контрольний зразок кварцового піску, що позитивно позначається на показниках ефективності очищення сортівки: окиснюваності — на 3 хв та прозорості — на 2%. Порівняно з контрольним зразком кварцового піску визначено ефект очищення вихідної водно-спиртової суміші досліджуванним матеріалом, який становить 97% та вказує на перспективність його застосування в умовах вугільно-очисної батареї.

Поліпшення органолептичних показників, зниження оптичної густини, збільшення різниці окиснюваності водно-спиртовій суміші після фільтрування природним мінеральним опало-халцедоновим матеріалом свідчать про часткове видалення органічних мікродомішок, що дає змогу зробити висновок про необхідність поглиблення досліджень у виробничих умовах під час приготування горілчаної продукції.

Сучасний стан лікєро-горілчаної промисловості вимагає економічної доцільності, раціональності та ефективності застосування матеріалів, тому дослідження фільтрування водно-спиртової суміші природним нетрадиційним мінеральним опало-халцедоновим матеріалом є перспективним напрямком.

**Ключові слова:** лікєро-горілчане виробництво, водно-спиртова суміш, фільтрування, стійкість, ефективність.

**Постановка проблеми.** Під час виробництва горілок і горілок особливих однією з основних стадій є обробка водно-спиртових сумішей (сортівки) спеціальними фільтрувальними та сорбційними матеріалами, під впливом яких вони набувають характерного горілчаного аромату й смаку.

На лікєро-горілчаних заводах України застосовують різні способи обробки, однак обов'язковим, відповідно до вимог виробничого технологічного

регламенту на виробництво горілок і лікєро-горілочаних напоїв, є динамічний спосіб обробки сортівки на вугільно-очисній батареї.

Сортівка з напірного збірника самопливом надходить послідовно у фільтр попереднього механічного фільтрування, вугільну колонку та фільтр остаточного механічного фільтрування. Фільтри попереднього фільтрування призначені для відокремлення тонкодисперсних часток, які можуть утворюватися під час приготування сортівки та закупорювати пори активного вугілля, яке використовують для очищення водно-спиртових сумішей. За допомогою фільтрів остаточного фільтрування відокремлюють пил і дрібні частки активного вугілля, що утворюються в процесі оброблення та стирання потоком сортівки [1].

На сьогодні на підприємствах лікєро-горілочаної галузі для фільтрування сортівок використовують однопотокові фільтри, при цьому кварцовий пісок завантажують у три шари [1]. Перевагами застосування кварцового піску є дешевизна матеріалу, малі втрати та відсутність значного стирання матеріалу під час технологічних циклів фільтрування, незначний гідродинамічний спротив і можливість застосування самопливної системи у вугільно-очисній батареї [1].

Кварцовий пісок є природним матеріалом з високим вмістом оксиду кремнію, міжзерновою пористістю та брудомісткістю. Використання кварцового піску для надання горілкам і горілкам особливим кристалєвого блиску обумовлено фізико-хімічними ефектами, що виникають під час контакту сортівки з поверхнею кристалів матеріалу [1; 2]. На лікєро-горілочані заводи України постачається кварцовий пісок, який видобувають з Глуховецького та Вінницького родовищ. Однак характерним для нього є наявність на поверхні значної кількості розчинних сполук кальцію, заліза та марганцю, що потребує значних витрат допоміжних матеріалів на стадії підготовки до завантаження у пісочний фільтр вугільно-очисної батареї.

До матеріалів, які використовують для фільтрування сортівок висувуються особливі вимоги за:

- хімічною стійкістю до вилужування з поверхні силікатів, кальцію, магнію, фосфатів, органічних сполук;
- фракційним складом для створення оптимальних гідродинамічних умов фільтрування, ступенем однорідності, механічної міцності, зольності.

Недоліками застосування кварцового піску є довготривала його підготовка із застосуванням значних витрат розчину соляної кислоти, кількості питної та підготовленої води для промивки від пилоподібних включень, вапнякових і каолінових забруднень. Під час тривалого циклу фільтрування та осідання на поверхні кварцового піску часток активного вугілля, за неритмічної роботи вугільно-очисної батареї та поштовхах потоку рідини є можливим потрапляння значного об'єму пилу в очищену водно-спиртову суміш.

До групи природних матеріалів відносять гірські породи та мінерали, які можуть мати іонообмінні, каталітичні та фільтрувальні властивості. Кремнеземні породи є кварцитами, кварцовими піщаниками та кварцом. Специфічні особливості структури за високого вмісту опалового кремнезему визначають адсорбційні та каталітичні особливості кременевих порід, можливість їх поєднання як фільтрувального, так і адсорбційного матеріалу [3—5].

У зв'язку з цим необхідним є пошук природних нетрадиційних матеріалів для підвищення ефективності технології виробництва горілок та якості готової продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Створенню науково-практичних основ фільтрування у технології горілок і горілок особливих присвячені праці зарубіжних і вітчизняних вчених: Л. М. Мельник, В. О. Маринченка, В. П. Ковальчука, І. І. Бурачевського, С. Ю. Макарова, І. Л. Славської, М. В. Emelko, Р. М. Huck та ін., які приділяли особливу увагу пошуку новітніх, ефективних та недороговартісних матеріалів для фільтрування водно-спиртової суміші [1; 7—10].

Основні результати досліджень останніх років показують, що науковці та виробничники зацікавлені у використанні таких природних матеріалів, як гірський криштал, гранат тощо. Використання цих матеріалів забезпечує покращення органолептичних та фізико-хімічних показників якості готової продукції; зменшення витрат на підготовку матеріалу. Однак гірський криштал і гранат є напівкоштовним камінням, поклади яких обмежені, крім того, виробники лікєро-горілкової продукції прагнуть до використання допоміжних матеріалів для комплексного очищення сортівки [11]. Тому розробка і впровадження на вітчизняному ринку нетрадиційних природних мікропористих матеріалів у технології фільтрування водно-спиртової суміші є своєчасним завданням.

**Метою дослідження** є удосконалення способу очищення сортівки, що сприятиме інтенсифікації технологічного процесу, зменшенню кількості вправного браку та витрат на стадії підготовки, підвищенню якості горілкової продукції.

**Матеріали і методи.** Як об'єкти досліджень використовували: водно-спиртову суміш, природний опало-халцедоновий мінерал і кварцовий пісок як контрольний зразок.

Природний опало-халцедоновий мінерал являє собою дрібні кристали халцедону, кварцу та природного опалу. Гранулометричний склад матеріалу — від 0,5 мм до 5 мм. Матеріал відносять до мікропористих мінералів з сорбційними властивостями. Форма зерен — обкочена, кутаеста, гострокутаеста; поверхня зерен — рівна, гладка, шорстка. Вміст вільного кварцу (незв'язаного  $\text{SiO}_2$ ) в мікропористому мінералі 95,0—99,0% [2—4].

Кварцовий пісок є зернистим матеріалом з шорсткою або гладкою поверхнею, фракційним складом від 0,1 до 10 мм. Частки кварцового піску можуть мати округлу або неправильну голчасту форму, колір — від жовто-сірого до чорного [2—5].

Відповідний природний матеріал завантажували у фільтр і встановлювали швидкість фільтрування від 20 дал/год до 120 дал/год у перерахунку на стандартну вугільно-очисну батарею, яка складається з фільтрів попереднього та остаточного фільтрування та вугільної колони висотою 4 м та діаметром 700 мм.

Дослідження природних матеріалів та водно-спиртової суміші здійснювали за чинними стандартизованими методиками; органолептичним, фізико-хімічним, газохроматографічним, капілярно-електрофоретичним спектро-

фотометричним методами. Застосовували методи моделювання, планування та оброблення результатів.

**Викладення основних результатів дослідження.** Для встановлення можливості застосування у вугільно-очисній батареї опало-халцедонового матеріалу визначено хімічну стійкість матеріалу до водно-спиртової суміші (табл. 1) та основні фізико-механічні характеристики (табл. 2).

*Таблиця 1. Стійкість опало-халцедонового матеріалу до водно-спиртової суміші*

Назва показника	Розмір зерен матеріалу, мм	Приріст масової концентрації, мг/дм <sup>3</sup>	
		граничне значення	для досліджуваного природного мінералу
Масова концентрація			
силікатів	0,5—1,0	2,0	1,6±0,25
	1,0—2,0		1,0±0,2
	2,0—3,0		0,5±0,1
кальцію, мг/дм <sup>3</sup>	0,5—1,0	0,2	0,15±0,02
	1,0—2,0		0,7±0,07
	2,0—3,0		0,3±0,03
фосфатів, мг/дм <sup>3</sup>	0,5—1,0	0,1	0,12±0,01
	1,0—2,0		0,5±0,05
	2,0—3,0		0,2±0,02
заліза, мг/дм <sup>3</sup>	0,5—1,0	0,1	0,08±0,01
	1,0—2,0		0,05±0,01
	2,0—3,0		0,02±0,005
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	0,5—1,0	10	8,0±0,8
	1,0—2,0		5,0±0,5
	2,0—3,0		2,0±0,2

Аналіз даних табл. 1 свідчить, що досліджувані зразки опало-халцедонового матеріалу з розмірами часток 1,0—2,0 мм та 2,0—3,0 мм є стійкими до водно-спиртової суміші та відповідають чинним вимогам до фільтрувальних матеріалів, які можуть використовуватись у технології горілок.

*Таблиця 2. Основні фізико-механічні характеристики досліджуваних зразків фільтрувальних матеріалів*

Назва показника, одиниця виміру	Значення показника для	
	кварцового піску	опало-халцедонового матеріал
Насипна густина, кг/м <sup>3</sup>	1,4—1,6	1,45—1,5
Вологість, %	5—8	5—7
Механічна міцність, %	95±1	97±1
Зольність, %	4±0,4	2±0,2
Міжзернова пористість	45—55	55—65
Коефіцієнт форми зерна, %	1,0—1,2	1,1—1,15
Стиранність, %	0,4±0,1	0,2±0,05

Встановлено, що порівняно з кварцовим піском для опало-халцедонового матеріалу характерна вища однорідність, більш оптимальна міжзернова пористість і коефіцієнт форми зерна, що покращить стабільність потоку рідини під час фільтрування та відсутність каналів у фільтрувальному завантаженні.

Порівняно з контрольним зразком, досліджуваний матеріал має вищу механічну міцність на 2%, а також менші, до 2 разів, зольність і стиранність, що сприяє ефективнішому експлуатуванню, зменшенню витрат води та водно-спиртової суміші під час підготовчої стадії (рис. 1). При цьому зменшуються витрати розчину соляної кислоти — у 1,7 раза; води на відмивання від розчину кислоти — у 1,25 раза; водно-спиртової суміші для промивки та доведення до стандартизованої після фільтрування — у 1,5 раза. Одержані дані свідчать про забезпечення більш раціонального використання водних ресурсів, підвищення екологічності виробництва за рахунок зменшення витрат соляної кислоти як прекурсору, а також зменшення питомих витрат водно-спиртової суміші та кількості утвореного виправного та невиправного браку.

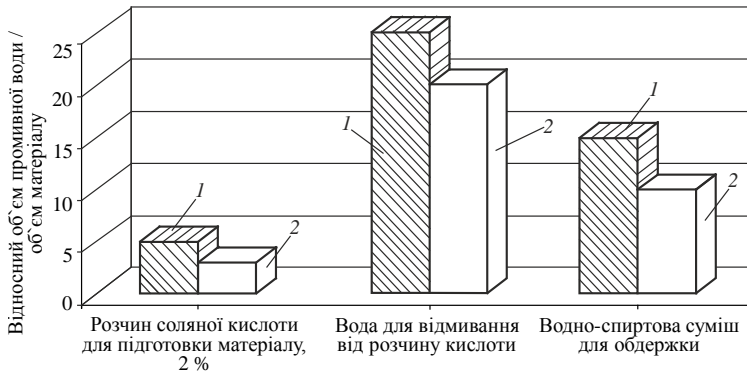


Рис. 1. Оптимальні технологічні параметри підготування

З метою прогнозування стійкості готової продукції визначено фізико-хімічні показники та мікрокомпонентний склад сортівки до та після її фільтрування досліджуваними природними матеріалами (табл. 3—5).

Результати досліджень (табл. 3) опалово-халцедонового мінералу підтверджують його хімічну стійкість, оскільки показник лужності до та після фільтрування не змінюється.

Після фільтрування сортівки природним опало-халцедоновим матеріалом, внаслідок його мікропористості, спостерігається зменшення масової концентрації альдегідів і сивушного масла — на 30% та об'ємної частки метилового спирту на 20%, що позитивно відзначається на якості готової продукції та дегустаційній оцінці готової продукції (табл. 3—5).

У водно-спиртовій суміші не ідентифікованих піків не було виявлено, при цьому концентрація мікродомішок після фільтрування опало-халцедоновим матеріалом (табл. 4) знижувалась для: ацетальдегіду на 10%, 2-пропанолу — 20%, 1-пропанолу — 10%, ізобутанолу — не змінилась. Результати фізико-хімічного та газохроматографічного досліджень (табл. 3, 4) свідчать про зменшення масової концентрації мікродомішок спирту (ацетальдегіду, 2-пропанолу, 1-пропанолу, метанолу), які впливають на загальну дегустаційну оцінку, що є позитивним.

**Таблиця 3. Результати фізико-хімічних випробувань сортівки до та після фільтрування**

Показник НД та одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ 4256 [26]	Результати випробувань сортівки		
		вихідної	після фільтрування	
			кварцовим піском	опало-халцедоновим матеріалом
1	2	3	4	5
Міцність, %	40±0,3	40,2±0,1	40,18±0,1	40,18±0,1
Лужність — об'єм соляної кислоти с(HCl) = 0,1 моль/дм <sup>3</sup> , витрачений на титрування 100 см <sup>3</sup> горілки, см <sup>3</sup>	не більше 3,5	1,2±0,05	1,4±0,05	1,2±0,05
Масова концентрація альдегідів, у перерахунку на оцтовий альдегід у безводному спирті, мг/дм <sup>3</sup>	не більше 4,0	1,8±0,15	1,8±0,15	1,5±0,15
Масова концентрація сивушного масла, в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів (1:1), у безводному спирті, мг/дм <sup>3</sup>	не більше 2,0	0,5±0,15	0,5±0,15	0,2±0,15
Масова концентрація естерів, у перерахунку на оцтово-етиловий естер у безводному спирті, мг/дм <sup>3</sup>	не більше 5,0	1,75±0,25	1,95±0,25	1,70±0,25
Об'ємна частка метилового спирту у перерахунку на безводний спирт, %	не більше 0,01	0,005±0,001	0,005±0,001	0,003±0,001

**Таблиця 4. Результати газохроматографічних випробувань сортівки до та після фільтрування опало-халцедоновим матеріалом**

Масова концентрація, мг/дм <sup>3</sup> б.с.	Результат випробувань сортівки	
	вихідної	після фільтрування
ацетальдегіду	1,5	1,4
2-пропанолу, мг/дм <sup>3</sup> б.с.	0,9	0,7
1-пропанолу, мг/дм <sup>3</sup> б.с.	0,3	0,2
ізобутанолу, мг/дм <sup>3</sup> б.с.	0,2	0,2

Отримані дані (табл. 5) дають змогу визначити найбільш оптимальні швидкості фільтрування опало-халцедоновим матеріалом у перерахунку на стандартну вугільно-очисну батарею. За швидкості від 20 дал/год до 160 дал/год у профільтрованій водно-спиртовій суміші не спостерігається значного збільшення вмісту зольних елементів і переходу кальцію, магнію та хлоридів з поверхні матеріалу у сортівку.

*Таблиця 5. Мікроелементний склад та ефективність очищення водно-спиртової суміші опало-халцедоновим матеріалом*

Назва зразка	Прозорість, T(λ 364 нм, S 50 мм)	Окиснюваність, хв за температури 20°C	Вміст мікроелементного складу, мг/дм <sup>3</sup>					Дегустаційна оцінка, бали
			кальцій та магній	залізо	сульфати	хлориди	силікати	
Граничне значення для сортівок на спирті сорту «Люкс»	98	—	1,2±0,12	0,03±0,003	40	40	3,0	9,2
Вихідна сортівка	92	12	1,0±0,1	0,02±0,002	12	15	2,0	9,2
Сортівка після фільтрування за швидкості, дал/год:								
20	100	+13,5	1,0±0,1	менше 0,005	15±2	15±2	2,5±0,2	9,65
40	100	+13,2	1,0±0,1	менше 0,005	13±1,5	15±2	2,2±0,2	9,6
60	100	+13,2	1,0±0,1	0,005±0,001	12±1,5	15±2	2,0±0,2	9,6
80	100	+13,0	1,0±0,1	0,005±0,001	12±1,5	15±2	2,0±0,2	9,55
100	99	+12,9	1,0±0,1	0,01±0,001	12±1,5	15±2	2,0±0,2	9,5
120	98	+12,7	1,0±0,1	0,01±0,001	12±1,5	15±2	2,0±0,2	9,45
140	97	+12,5	1,0±0,1	0,015±0,002	12±1,5	15±2	2,0±0,2	9,4
160	96	+12,4	1,0±0,1	0,02±0,002	12±1,5	15±2	2,0±0,2	9,3

За мінімальної швидкості фільтрування 20 дал/год, порівняно з вихідною сортівкою, збільшується вміст сульфатів — на 3 мг/дм<sup>3</sup>, а силікатів — на 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Дегустаційна оцінка та окиснюваність є найвищими і збільшуються, відповідно, на 0,45 бала та 1,5 хв, що є позитивним.

Під час швидкості фільтрування сортівки 40 дал/год практично не збільшується (у межах похибки методу) вміст сульфатів на 1 мг/дм<sup>3</sup>, а силікатів — 0,2 мг/дм<sup>3</sup> порівняно з вихідною сортівкою. При цьому дегустаційна оцінка є на 0,4 бала вищою порівняно з мінімальним значенням для сортівок на спирті сорту «Люкс». Покращення дегустаційної оцінки підтверджується і збільшенням показника окиснюваності на 1,2 хв.

За швидкості фільтрування 60 дал/год, порівняно з вихідною сортівкою, вміст зольних елементів не змінюється, а дегустаційна оцінка та окиснюваність збільшуються на 0,4 бала та 1,2 хв відповідно.

Після фільтрування сортівки за швидкості 80—100 дал/год вміст у фільтраті: хлоридів, сульфатів та силікатів — не змінюється, заліза — зменшується на 0,015 мг/дм<sup>3</sup> та 0,01 мг/дм<sup>3</sup> відповідно, при цьому збільшення дегустаційної оцінки становить 0,35 та 0,3 бала відповідно.

Одержані дані підтверджується отриманими результатами прозорості водно-спиртової суміші, яка за швидкостей фільтрування від 20 дал/год до 100 дал/год покращувалась на 7—8%.

За швидкості фільтрування 120—140 дал/год водно-спиртової суміші, порівняно з вихідною сортівкою, вміст хлоридів, сульфатів і силікатів не змінюється, заліза зменшується на 0,01 та 0,005 мг/дм<sup>3</sup> відповідно, а покращення дегустаційної оцінки становить 0,25 та 0,2 бала. За швидкості фільтрування 120 дал/год спостерігається зменшення різниці показників прозорості до та після фільтрування водно-спиртової суміші (до 6%) і досягнення нормативного граничного значення.

Під час фільтрування водно-спиртової суміші опало-халцедоновим матеріалом за швидкості 80—140 дал/год покращення показника окиснюваності у профільтрованій сортівці становить 0,7—1,0 хв.

За максимальної швидкості фільтрування сортівки 160 дал/год вміст заліза, хлоридів, сульфатів та силікатів у фільтраті не змінюється, але різниця у дегустаційній оцінці (0,1 бала) та окиснюваності (0,5 хв) є найнижчими порівняно зі швидкостями від 20 дал/год до 140 дал/год.

### Висновки

Отже, теоретичні та експериментальні дослідження довели позитивний вплив опало-халцедонового матеріалу під час фільтрування водно-спиртових сумішей лікєро-горілчаного виробництва.

Порівняно з традиційним фільтрувальним матеріалом (кварцовим піском) застосування нетрадиційного опало-халцедонового матеріалу забезпечує зменшення витрати розчину соляної кислоти — у 1,7 раза; води на відмивання від розчину кислоти — у 1,25 раза; водно-спиртової суміші для промивки та доведення до стандартизованої після фільтрування — у 1,5 раза, що покращує екологічність виробництва.

Під час фільтрування природним опало-халцедоновим матеріалом, унаслідок його мікропористості, у сортівці зменшується масова концентрація альдегідів, сивушного масла та об'ємна частка метилового спирту на 20—30%, що позитивно відзначається на якості готової продукції.

Встановлено, що оптимальною швидкістю фільтрування опало-халцедоновим матеріалом є 40—120 дал/год, за якої не спостерігається збільшення мінеральних речовин у профільтрованій водно-спиртовій суміші, при цьому дегустаційна оцінка її збільшується на 0,2—0,4 бала, що позитивно позначається на прозорості, яка не перевищує граничного значення.

### Література

1. Бурачевский И. И., Зайнулин Р.А., Кунакова Р. В. Производство водок и ликерводочных изделий. Москва: ДеЛипринт, 2009. 324 с.
2. Ярошевская Н. В., Гончарук В. В., Кармазина Т. В., Сребродольская Е. В., Швиденко О. Г., Каганов В. Я. Сопоставительная оценка халцедона и кварцевого песка как фильтрующих материалов. *Химия и технология воды*. 2006. Т. 28. № 5. С. 472—480.
3. Сивий М. І., Паранько С. І. Географія мінеральних ресурсів України. Львів: Простір М, 2013, 684 с.

4. Spiridonova D. V., Britvin S. N., Krivovichev S. V., Yakovenchuk V. N., Armbruster T. Ti-exchange in zorite and ETS-4. *Minerals as Advanced Materials I* (Ed. S. Krivovichev). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. P. 65—69.
5. Ivanyuk G. Yu, Yakovenchuk V. N., Pakhomovsky Ya. A. Kovdor. *Laplandia Minerals. Apatity*, 2002. 326 p.
6. Selivanova E. A., Yakovenchuk V. N., Pakhomovsky Ya. A., Ivanyuk G. Yu. Features of Low-Temperature Alteration of Ti- and Nb-Phyllosilicates Under Laboratory Conditions. *Minerals as Advanced Materials I* (Ed. S. Krivovichev). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. P. 143—151.
7. Манк В. В., Мельник Л. Н. Исследование природных минералов для адсорбционной очистки водно-спиртовых растворов. *Производство спирта и ликероводочных изделий*. 2005. № 1. С. 27—28.
8. Турчун О. В., Нагурна Н. А., Маринченко В. О. Використання нетрадиційного сорбенту для зміни концентрації вищих спиртів у сортівці. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 3(20). С. 47—49.
9. Маринченко В. О., Гівель М. М. Зміна характеру і легких домішок спирту при її адсорбції мінеральними адсорбентами. *Наукові праці НУХТ*. 2015. Т. 21, № 4. С. 193—197.
10. Маринченко Л. В., Маринченко В. О., Гівель М. М. Дослідження можливості очищення водно-спиртових розчинів від альдегідів та естерів мінеральними адсорбентами. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2017. № 4/11(88). С. 193—197.
11. Иванов С. В., Домарецкий В. А., Прибильский В. Л. Инновационные технологии продуктов брожения и виноробства: подруч. / за заг. ред. д-ра хім. наук, проф. С.В. Іванова. К.: НУХТ, 2012. 487 с.

STUDY OF THE QHF IRRADIATION INFLUENCE  
OF WATER ON ITS STRUCTURAL AND ENERGY STATE  
AND POSSIBLE BIOLOGICAL CONSEQUENCES  
OF THE PROCESS

**Yu. Bolshak, A. Ukrainets, A. Marynin, R. Svyatnenko**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Water*

*Structural energy state*

*Electromagnetic waves*

*Mobile phone*

---

**Article history:**

Received 18.09.2019

Received in revised form  
27.09.2019

Accepted 04.10.2019

---

**Corresponding author:**

R. Svyatnenko

**E-mail:**

Svyatnenko@i.ua

**ABSTRACT**

---

Among the many sources of such radiation in the last decade, wireless devices have taken the leading place. The interest in such an electromagnetic background, which accompanies the life of humans, has increased significantly after the discovery of particular sensitivity to biological organisms, including humans. The study of the biological response to millimeter radiation — quasi-high frequency (QHF) has led to the development of effective use of QHF radiation in biology, medicine, and production. After the introduction of microwave therapy, it has appeared a new method of therapy — QHF. Moreover, it is generally recognized that the basis of therapeutic effect is the change under the influence of electromagnetic radiation of the structural and energy state of endogenous water.

This study investigated the structural energy status of water (ph, ovp, ppm, kinematic viscosity) before and after irradiation from a Lenovo A820 smartphone at a distance of 15 mm from the antenna of the apparatus to the water surface. Water layer thickness is 10 mm, water irradiation time is 60 and 120 seconds.

Thus, a significant change in the cyclic nature of the parameters of the structural energy state of water after water irradiation in the immediate vicinity of the mobile phone indicates a high probability of the impact of such irradiation on the structural energy state of the external and intracellular water in the tissues of the human body which directly in contact with the mobile phone in the process of its using.

Studies have clearly shown that current personal care regulations should be added with full seriousness to develop and obtain electromagnetic hygiene regulations to ensure health safety, use of the growing power and spectrum of wireless applications.

## **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ КВЧ-ОПРОМІНЕННЯ ВОДИ НА ЇЇ СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СТАН І МОЖЛИВІ БІОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ПРОЦЕСУ**

**Ю. В. Большак, А. І. Українець, А. І. Маринін, Р. С. Святненко**  
*Національний університет харчових технологій*

*Серед численних джерел електромагнітного опромінення в останньому десятилітті лідирують пристрої бездротового зв'язку. Інтерес до такого електромагнітного фону значно зріс після відкриття особливої чутливості до нього біологічних організмів, включаючи людей.*

*Вивчення біологічного відгуку на міліметрове, або квазівисокочастотне (КВЧ) випромінювання розширило його використання в біології, медицині, виробництві. Після впровадження НВЧ-терапії з'явився новий метод терапії — КВЧ-терапія. Причому загально визнано, що основою терапевтичного ефекту є зміна під впливом електромагнітного опромінення структурно-енергетичного стану ендогенної води.*

*У статті досліджено показники структурно-енергетичного стану води (рН, оВр, ррт, кінематична в'язкість) до і після опромінення від смартфона Lenovo A820 на відстані 15 мм від антени апарата до поверхні води. Товщина шару води — 10 мм, час опромінення води — 60 і 120 секунд.*

*Встановлено, що зміна циклічного характеру параметрів структурно-енергетичного стану води після опромінення в безпосередній близькості мобільного телефону свідчить про високу ймовірність впливу такого опромінення на структурно-енергетичний стан зовнішньо- та внутрішньоклітинної води в тканинах людського організму, що безпосередньо контактують з мобільним телефоном у процесі користування.*

*Проведені дослідження підтвердили, що до чинних правил особистої гігієни слід додати правила електромагнітної гігієни, щоб гарантувати безпечність для здоров'я користування засобами бездротового зв'язку, потужність яких зростає.*

**Ключові слова:** *вода, структурно-енергетичний стан, електромагнітні хвилі, мобільний телефон.*

**Постановка проблеми.** Електромагнітні хвилі генерує переважна більшість промислового обладнання та побутової техніки, що створює небачене електромагнітне навантаження на довкілля і, особливо, на біосферу. Перш за все це навантаження стосується людини, яка створила й експлуатує джерела електромагнітного випромінювання (ЕМВ), і води як посередника між навколишнім середовищем та організмом. Як відомо, вода є чутливим приймачем, накопичувачем, перетворювачем і ретранслятором енергії зовнішньої фізичної дії на неї [1—4]. Ендогенна зовнішньо- та внутрішньоклітинна вода організму сприймає значні дози від опромінення мобільних телефонів, які частіше за все застосовуються в обсягах, що значно перевищують реальні

потреби зв'язку. Сучасна людина споживає також значні обсяги води та їжі, обробленої у мірохвильових пічках, хоча повна безпечність такої обробки остаточно не доведена. Ось чому дослідження фізико-хімічних властивостей опроміненої води та біологічні наслідки такої обробки для біооб'єктів, що зазнають опромінення або вживають опромінену воду, а також для продуктів харчування — важлива та актуальна науково-прикладна тема, яка є предметом і метою цього дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У 2011 р. Міжнародне агентство з дослідження раку IARS (підрозділ ВООЗ) склало звіт за результатами багаторічних досліджень, у якому зазначається, що «наявні факти, які продовжують надходити, дають змогу зробити висновок, що мобільний телефон в активному вжитку є канцерогеном категорії 2В», який знаходиться на третьому місці з п'яти серед категорій обставин, що визнані ймовірними причинами виникнення раку [2].

Висока чутливість молекул води до зовнішнього енергетичного збудження обумовлена наявністю у них значної кількості ступенів свободи руху (коливальних, обертальних тощо), які залежать від структурних особливостей молекули.

Повна енергія будь-якої ізольованої молекули складається з  $E_{\text{пост.}}$  — енергія поступального руху молекули як цілого,  $E_{\text{обер.}}$  — енергія обертального руху молекули як цілого,  $E_{\text{кол.}}$  — енергія коливань атомів в молекулі,  $E_{\text{ел.}}$  — сукупність усіх електронів у молекулі (енергія електронних станів),  $E_{\text{яд.}}$  — енергія ядерних частинок атомів молекули [3]:

$$E = E_{\text{пост.}} + E_{\text{обер.}} + E_{\text{кол.}} + E_{\text{ел.}} + E_{\text{яд.}} \quad (1)$$

Енергія поступального руху молекули набуває будь-якої величини залежно від температури, тобто не кантується. Всі інші складові повної енергії ізольованої молекули кантуються.

Стан молекули з мінімальною енергією називається основним, всі інші — збудженими. При поглинанні молекулою ЕМВ діє правило Бора:

$$E = h \cdot \nu, \quad (2)$$

де  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — постійна Планка.

Поступальний рух молекули в просторі не кантується, оскільки він не є періодичним і нічим не обмежений. Обертальний рух молекули у просторі — періодичний та обмежений у просторі, тож мусить кантуватися. Те ж стосується коливань атомів у молекулі та руху електронів в атомах і молекулах. Стан частинки набуває квантового характеру, якщо її рух є періодичним та обмеженим у просторі. Кількість квантових чисел, які визначають енергію таких станів, дорівнює числу вимірів такого обмеженого простору. В одновірному просторі — одне, в двовірному — два, в тривірному — три.

Дія електромагнітних хвиль на воду здатна викликати деформацію міжатомних зв'язків, тобто зміну довжин зв'язків О—Н або кутів Н—О—Н. При таких змінах зростає величина дипольного моменту за рахунок поглинання ЕМВ у коливальній частині спектра поглинання води. Міжмолекулярні зв'язки недостатньо стійкі й порівняно легко руйнуються [4; 5]. Молекули води, гідратовані йони й асоціати знаходяться у безперервному коливальному русі

з притаманною йому певною енергією коливального процесу. Під дією змінного ЕМ поля можливий резонанс цього поля з рухом певної групи молекул та асоціатів, що супроводжується поглинанням квантів енергії, здатних деформувати структурний стан системи.

Особливістю водних структур є наявність резонансних частот 5—50 гГц, що відповідають коливанням гексагональних кластерів [4], та 65 гГц — коливанням вільних молекул. Резонансні частоти близько 1 гГц відповідають коливанням фрактальних кластерів, розміри яких сягають 170 нм. Кластерні структури підтримуються водневими зв'язками, в той час як для вільних молекул водневі зв'язки можуть замінюватися менш стабільними диполь-дипольними взаємодіями [5], які, власне, обумовлюють текучість води.

У [6] підкреслюється, що міжмолекулярні зв'язки в асоціатах молекул води менш стійкі порівняно з міцністю зв'язків між атомами водню та кисню у складі молекул води, а тому порівняно легко руйнуються під дією короткохвильових електромагнітних хвиль. Атом водню, що знаходиться посередині між найближчими атомами кисню (в асоційованій водній структурі), може знаходитися в одному з двох станів: поблизу одного чи іншого атомів кисню, один з цих станів є стійким. Енергії переходу атома водню із стійкого в нестійкий стан відповідає квант енергії у КВЧ-діапазоні. Відповідно, під дією квантів зовнішнього КВЧ-опромінення атоми водню можуть переходити у нестійкий збуджений стан. Такі переходи здатні активувати воду в плані підвищення її реакційної здатності, причому час їх знаходження в збудженому стані може перевищувати кілька діб [7]. Опромінена ЕМВ КВЧ вода набуває нових унікальних властивостей.

Стан і властивості води залежать від її структурного й енергетичного стану і можуть бути змінені шляхом безреагентного фізичного впливу, зокрема опромінення КВЧ електромагнітними хвилями. У [8] зазначається, що вода в паровій фазі характеризується тим, що водень в її молекулах жорстко зафіксований. У твердому стані (лід) фіксованими є атоми кисню, а атоми водню здатні займати різноманітні позиції між атомами кисню. В рідкій воді можливе значне різноманіття взаємного розташування атомів кисню та водню, проте переважає тетраедрична координація в межах ближнього порядку. З огляду на це активність води можна змінювати шляхом збіднення чи насичення зони активації води атомами водню, як це має місце в реакційних зонах електрохімічного діафрагмового електролізера-активатора води [9].

При дії ЕМВ КВЧ на багатокліткові організми [10] хвилі поглинаються верхніми шарами дерми, де до процесу залучаються рецептори ЦНС, клітини дифузної ендокринної системи, капілярне русло кровотворної системи. Після цього сигнал передається іншим системам (кровотворній, гуморальній, нервовій) і внутрішнім органам. Таким чином до реакції залучається весь організм. На відміну від одноклітинних, зміна фізіологічних показників багатоклітинних організмів спостерігається при хронічній дії ЕМВ КВЧ, що проявилось [10] у затримці закладення та розвитку партеногенетичних яєць, появі абортіваних яєць та у нежиттєздатності молодняка.

Дія ЕМВ КВЧ на тонкий шар граничної води призводить до часткової дисоціації молекул води. При цьому енергія хвиль перетворюється на кінетичну енергію коливань і обертань молекул води. Збуджені таким чином молекули утворюють кластери з характерними для чистої води розмірами. Такі молекули води відіграють особливу роль у гідратації білкових молекул біологічних мембран, переводячи їх з функціонально пасивного в активний стан [11]. Активація мембран запускає біохімічні реакції, що супроводжується збільшенням проникності біологічних мембран і відповідним збільшенням транспорту з середовища у клітину [12].

У [13] показано, що низькоінтенсивне ЕМВ КВЧ спричиняє виражену протизапальну дію з кінетикою і силою протизапального ефекту, тоготною дії однократної терапевтичної дози нестероїдного протизапального препарату диклофенаку натрію. Ефект вкрай обнадійливий, зважаючи на популярність препарату, попри негативні побічні наслідки його застосування. Цей разючий приклад терапевтичної дії КВЧ-хвиль доповнює їх широке застосування у фізіотерапії разом з хрестоматійною вже НВЧ-терапією. Але в той же час накопичилося достатня кількість інформації про негативні для здоров'я наслідки неконтрольованого мікрохвильового опромінення. Ілюстрацією мікрохвильового фону, що оточує сучасну людину, є дані, наведені в табл. 1.

**Таблиця 1. Частотні та енергетичні показники основних джерел випромінювання КВЧ-хвиль, які відповідальні за підвищення мікрохвильового навантаження на довкілля і людину**

Частоти джерел випромінювання	Частоти, гГц	Потужність, Вт	Особливості опромінення людини
Базова частота GSM	1,9	0,8-300 Вт	Цілодобове
Мобільний телефон	1,9	0,16—2,0 Вт	Періодичне
WiFi	2,4—2,48	2,5м Вт	Постійне з радіусом дії до 100 м
Bluetooth	2,4—2,48	2,5м Вт	Постійне з радіусом дії 10 м
Мікрохвильова піч	2,45	500—2500 Вт	Періодичний

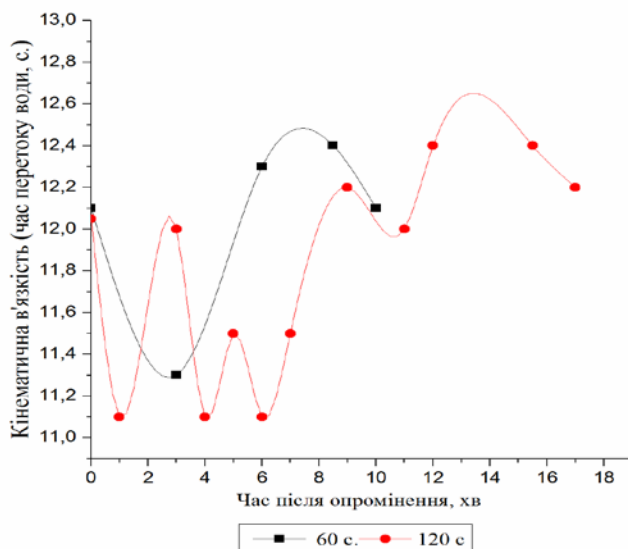
Як видно, потужність джерел випромінювання в зоні тривалого перебування людини та час експозиції дуже різняться. Проте, наприклад, невелика потужність передавача WiFi з урахуванням цілодобової дії викликає обгрунтоване занепокоєння. Одночасно потужне випромінювання мікрохвильової пічки, попри надійне екранування, не варто недооцінювати як фактор джерела молекулярної деструкції харчових продуктів, в яких при хвильовій термообробці можливі непрогнозовані перетворення макромолекул протеїнів та їх складових — амінокислот.

**Метою статті** є дослідження наслідків впливу на структуру води опромінення її сучасним смартфоном у режимі додзвону з часом обробки 60 і 120 секунд.

**Викладення основних результатів дослідження.** Під час дослідження антену розташовували паралельно поверхні до води на відстані 15 мм. Така відстань вибрана не випадково, адже в додатку до інструкції приладу вироб-

ник не рекомендує носити смартфон в одязі, а принаймні забезпечити відстань між смартфоном і поверхнею шкіри не менше 15 мм. Імовірно ця відстань нормована у багатьох країнах. Зразок води для дослідження кінематичної в'язкості (віскозиметр ВПЖ-4 з діаметром капіляра 0,78 мм) відбирався з поверхневого шару опроміненої води товщиною 10 мм.

На рис. 1 наведено графіки залежності кінематичної в'язкості дистильованої води, вирахованої за часом протікання води крізь капіляр віскозиметра (залежить від в'язкості води при постійній температурі), від часу (хвилин) після припинення опромінення води. Час опромінення — 60 і 120 секунд.



**Рис. 1. Залежність кінематичної в'язкості опроміненої води від часу з моменту припинення опромінення**

Як видно з рис. 1, для обох зразків отримана залежність має циклічний характер: після моменту припинення опромінення протягом 1—3 хв в'язкість води різко падає (на 5—6% від максимального значення). Більш вираженим (крутим) це падіння є для води з часом опромінення 120 с. Для води, опроміненої протягом 60 с, цей час довший — 6—7 с. Згодом в'язкість води зростає, досягаючи максимуму за 2—4 хв, і знов різко повертається майже до вихідної величини. Цикл завершується.

На рис. 2 наведено графіки залежності кінематичної в'язкості дистильованої води після моменту припинення опромінення мобільним телефоном різної тривалості: 30, 60, 120 і 200 секунд.

Потужність опромінювача приблизно 1 Вт на відстані 15 мм від антени. Як видно з рис. 2, спостерігається складна закономірність: чим більше хвильової енергії поглинула вода, тим більше циклів структурної перебудови відбувається в ній за певний час, що складає 10 хв і більше.

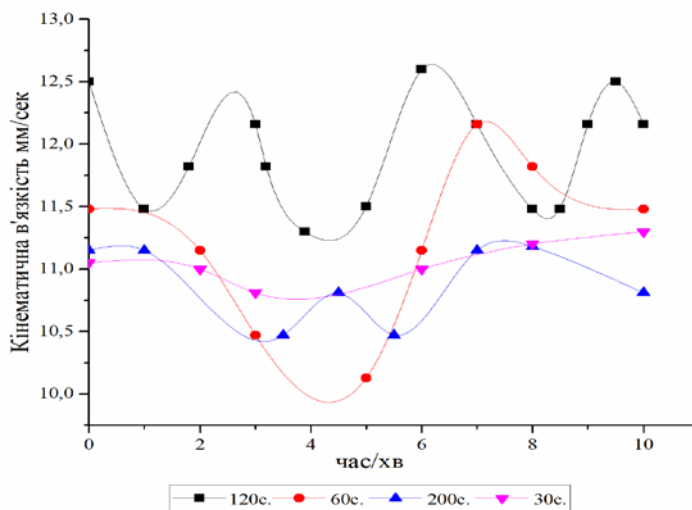


Рис. 2. Залежність кінематичної в'язкості опроміненої води від часу з моменту припинення опромінення

Дуже важливе спостереження: після 30 с опромінення структурні зміни майже не помітні, що свідчить на користь коротких розмов. Цікавий результат із зразком, одержаним після 200 с опромінення. Тут спостерігається два повних цикли коливань на графіку, але в кілька разів меншою амплітудою, ніж для зразків з опроміненням 60 і 120 секунд. Причому для останніх амплітуда зразка після 60 с опромінення сягає 12% від максимальної величини, а для зразка, опроміненого тривалістю 120 с, вже 9,5%. Після опромінення тривалістю 200 с амплітуда коливань кінематичної в'язкості несподівано зменшилась до лише 1,5% від максимального значення. Тож можна припустити, що така тривалість опромінення викликає в структурі води значно сильніші структурні руйнування, які на певний час ускладнюють структурогенні природні процеси самоорганізації води.

Залишаються незрозумілими біологічні наслідки виявлених процесів структурної перебудови опроміненої води як при відносно значних амплітудах коливання величини кінематичної в'язкості води (60—120 с опромінення), так і при відносно незначних амплітуд, як при мінімальній (30 с), так і при максимальній тривалості опромінення (200 с). Виявлений нелінійний характер структурних змін у воді від енергії зовнішнього збудження КВЧ ЕМВ спонукає до подальших досліджень фізико-хімічних механізмів сприйняття водою зовнішніх збуджувальних безреагентних чинників.

Опромінення води в наших дослідях на відстані її поверхні 10—15 мм від антени моделює умови безпосередньої близькості антени та головного мозку людини при користуванні телефоном. Зафіксовані яскраві ознаки структурно-енергетичної перебудови у воді після припинення її опромінення телефоном корелюють із спостереженнями змін на електроенцефалограмах [14], які також не зникають тривалий час після завершення телефонної розмови.

Подібна післядія спостерігається також у дослідженнях (2015 р.) вивільнення під дією випромінювання мобільного телефону токсичних компонентів (нікелю) з ортопедичних деталей у ротову порожнину [15], або ж ртуті зі стоматологічної амальгами [16]. Достеменний зв'язок між випадками запаморочення, головного болю та підвищення стомлюваності й сонливості при регулярному тривалому користуванні мобільним зв'язком описано в [17]. Про можливість впливу опромінення мобільним телефоном на розвиток дитячих і підліткових організмів йдеться у [18], де відмічені скарги на роботу очей, серця, нирок, нервової та ендокринної систем.

Випромінювання сонця у міліметровому діапазоні повністю поглинається складовими атмосфери, перш за все водою, яка інтенсивно поглинає електромагнітні хвилі переважної більшості спектральних областей сонячного випромінювання. Тому тепловий ефект у біологічних об'єктів від поглинання ендегенною водою ЕМВ мобільного зв'язку є досить суттєвим медико-біологічним фактором його впливу на живі організми. Перетворене у тепло випромінювання призводить до збільшення кровопостачання капілярів, прилеглих до слизових залоз, і, відповідно, до збільшення швидкості слиновиділення, через що, як вважають у [19], спостерігаються цитогенні аномалії клітин слизової оболонки ротової порожнини.

Але й дуже малі за інтенсивністю (нетеплові, або інформаційні) складові випромінювання бездротового зв'язку, включаючи WiFi та Bluetooth, викликають значні біологічні відгуки у біомолекулах, клітинах і тканинах через наявність у них гідратного водного оточення (асоційованих пограничних структур) численних резонансних частот поглинання в міліметровому діапазоні довжин хвиль ЕМВ і навіть перевипромінювання водою таких хвиль. Вважається, що резонансні явища в біологічних середовищах, збуджені КВЧ-хвилями надслабкої інтенсивності, є явищем інформаційного обміну між біомолекулами в клітинах. Цікаво, що в процесі еволюції біологічні системи на Землі були екрановані атмосферою від КВЧ-хвиль реліктового випромінювання. Причому спектр поглинання ЕМВ атмосферою має нерівномірний характер. В окремих смугах поглинання ослаблення падаючого випромінювання досягає 800 дБ, а в інших — існують області прозорості з величиною послаблення лише 1—3 дБ. Неймовірно, але повністю екрануються саме ті спектральні дільниці, на яких «спілкуються» біомолекули живих клітин і тканин. Інший вражаючий факт: в ході відбору питної води для космонавтів МКС було застосовано біотестування води з використанням тестових клітин людини (клітин буккального епітелію з слизової оболонки ротової порожнини) [20]. Після випитого людиною певного зразка питної води у відібраних клітинах спостерігалася стресова реакція на випиту воду, яка виражалася в калатанні ядра клітини, аж поки не досягався стан релаксації. Фахівці припускають, що фізичний сенс явища калатання ядра клітини полягає в гідромеханічному переструктуванні зміненої структури води в клітині до її первинного стану — до надходження в клітину нової води. Логічно припустити, що ознаки переструктування води під дією випромінювання мобільного телефону, які ми

спостерігаємо, є віддзеркаленням фундаментальних природних структурно-генних властивостей води.

У [14] описані результати масового анкетування та медичного обстеження самопочуття та показників фізіологічного стану студентів, що користуються мобільним телефоном. Зокрема, помічено незвичайний ефект під час користування мобільним телефоном різної експериментальної тривалості: зменшення артеріального тиску при збільшенні частоти пульсу, що суперечить загально-визнаній фізіологічній залежності: при збільшенні пульсу, що виникає під час прискорення серцевої діяльності, артеріальний тиск крові закономірно також збільшується [21].

### Висновки

Отже, опромінення ЕМВ міліметрового діапазону екзогенної та ендегенної води викликають тотожні за фізико-хімічними показниками зміни їх структурно-енергетичного стану, які, ймовірно, є відповідальними за біологічний відгук біомолекул, клітин і тканин живих організмів. Численні медико-біологічні дослідження фіксують неіндиферентність живих організмів до впливу на них зовнішнього випромінювання у діапазоні частот роботи бездротового зв'язку як теплової, так і інформаційної потужності, що беззаперечно вимагає розробки й дотримання сучасних гігієнічних правил контролю за користуванням технікою мобільного зв'язку, особливо для дітей і підлітків.

Важливо також усвідомлювати, що біологічні наслідки спричинених ЕМВ структурно-енергетичних збуджень у воді чекають на подальші ґрунтовні дослідження. Очікувані результати можуть також змінити ставлення до наслідків безреагентної обробки питної води, а також до води як сировинного компонента у технологів харчового виробництва.

### Література

1. Антонченко В. Я., Давыдов А. С., Ильин В. В. Основы физики воды. Киев.: Наук. думка. 1991. 670 с.
2. Українець А. І., Большак Ю. В., Святненко Р. С., Прохоренко Ж. І. Застосування фізично зміненої (активованої) води для підвищення ефективності технологій харчового виробництва та поліпшення якості продукції. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 5. С. 219—224.
3. Українець А. І., Большак Ю. В., Маринін А. І., Святненко Р. С., Позняковський С. В., Теоретико-емпірична оцінка змін структурноенергетичного стану фізично зміненої води та їх біологічних наслідків. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / відпов. ред. О. І. Черевко*. Харків: ХДУХТ, 2019. Вип. 1 (29). С. 172—184.
4. Українець А. І., Большак Ю. В., Маринін А. І., Святненко Р. С. Окисно-відновний баланс питної води — показник її якості та фізіологічної повноцінності. *Харчова промисловість*. 2018. № 24. С. 6—14.
5. Неведомська Є. О., Тимчик О. В. Фізіологічний стан спортсмена під дією мобільного телефону. Фізичне виховання і спорт. *Scientific Journal «Science Rise»*. 2018. № 2(43). С. 38—44.
6. Рябцев А. Н. Квантование энергии молекул: когда и почему? *Химия. Проблемы выкладання*. 2007. № 11. С. 32—41.

7. Хан В. А., Власов В. А., Шишкин В. Ф., Ижойкин Д. А., Рахмажанова Л. Д. Исследование влияния электромагнитных полей на структуру и свойства воды. *Научный журнал Куб. ГАУ*. 2012. № 8(07). С. 19—26.
8. Святненко Р. С., Маринин А. И., Українець А. І., Кочубей-Литвиненко. О. В., Вплив імпульсного електромагнітного поля на життєздатність *EscherichiaColi* в модельному розчині води. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2016. № 252. С. 185—191.
9. Петросян В. И. Резонансное излучение воды в радиодиапазоне. *Письма в ЖТФ*. 2005. Т. 31. Вып. 23. С. 3—13.
10. Мышкин Б. Ф., Хан В. А., Шиян А. В., Польшенко О. В. Структура и свойства воды, облученной СВЧ излучением. *Научный журнал Куб. ГАУ*. 2012. № 8(107). С. 6—12.
11. Сент-Джорджи А. Биоелектроника. Москва, 1960. С. 54—56.
12. Яцко О. Б. Роль воды в молекулярных кристаллах с водородными связями. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2006. № 1. С. 80—84.
13. Большак Ю. В. Биологическая активность и закономерности формирования безрегентно модифицированной воды. Киев. Книга-плюс. 2005. 200 с.
14. Полякова Э. Б. Моделирование цитопротекторного действия 1-(2'-гидроксиэтил)-2-метил-5-нитроимидазола и его влияние на связанную воду мембран и белков // Автореф. дис. ... биол. наук. Воронеж, 2007. 24 с.
15. Костюк П. Г. Кальций и клеточная возбудимость. М.: Наука, 1986. 256 с.
16. Гапеев А. Б. Физико-химические механизмы действия электромагнитного излучения крайне высоких частот на клеточном и организменном уровнях. Автореф. дис. док. физико-математических наук. Пушино. 2006. 285 с.
17. Гапочка Н. Г. Воздействие электромагнитного излучения на водные растворы и биологические системы. Автореф. дис. канд. биол. наук. Москва, 1998. 95 с.
18. Неведенська Є. О., Тимчик О. В. Фізіологічний стан спортсмена під дією мобільного телефону. Фізичне виховання і спорт. *Scientific Journal "SiencRise"*. 2018. № 2(43). С. 38—44.
19. Saghiri M. A., Orangi J., Asatourian A., Meh P., Sheibani N. Effect of mobile phone use on metal ion release from fixed orthodontic appliances. *American Journal of Orthodontic and Dentofacial Orthopedic*. 2015.01.023.
20. Mortazavi S. M. J., Daiee E., Jasdi A., Kmiabani K., Kavousi A., Vasirinejad R. Mercury release from dental amalgam restorations after magnetic resonance imaging and following mobile phone use. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 1008. Vol.11, Issue 8. P. 142—146.
21. Фогель А. О., Присяжнюк О. Г. Мобільний зв'язок користь чи шкода? *Біологічні дослідження*. 2016. С. 294—295.
22. Головачова В. О. Вплив електромагнітного випромінювання на здоров'я дітей у сучасному суспільстві. *Експериментальна та клінічна медицина*. 2017. № 1(79). С. 65—70.
23. Daroit N. B., Visioli F., Magnusson A. S., Viaria G. R., Rados P. V. Cell phone radiation effectsjncytogenetscabnormalities of oral mucosal cells Brazilian Oral Reasearch. 2015. Vol.129.014.
24. Рой Р., Тиллер У. А., Белл А., Гувер Р. Структура жидкой воды — новый взгляд сточки зрения материаловедения и потенциала применения в гомеопатии. *Materials Research Innovations*, vol.9, issue4, Desember 2005, pp.577—607.
25. Физиология человека. Под ред. Г. И. Косицкого. М.: Медицина, 1985. 544 с.

УДК 664:637.521:637.04

DEVELOPMENT OF COMPLEX FOOD SUPPLEMENTS  
BASED ON AN ANIMAL AND VEGETABLE RAW  
MATERIALS FOR MEAT PRODUCTS

**V. Sukhenko, O. Shtonda, N. Son'ko**

*National University of Food Technologies*

**L. Shevchuk**

*The Ukrainian state scientific research institute "Resurs"*

---

**Key words:**

*Milk protein*  
*Fiber*  
*Sodium alginate*  
*Multipurpose food*  
*additive*  
*Emulsion*

**Article history:**

Received 13.09.2019  
Received in revised form  
01.10.2019  
Accepted 15.10.2019

**Corresponding author:**

V. Sukhenko

**E-mail:**

vladsuhenko@gmail.com

**ABSTRACT**

The paper presents the results of organoleptic studies, the basic functional-technological and structural-mechanical properties of food supplement. The nutritional supplement is a mixture of the following components, namely: sodium alginate, soy fiber and whey protein.

The study was subjected to experimentally-established samples of food additives based on animal and vegetable raw materials made by carefully mixing the dry components in a certain ratio of mass parts, which are capable for creating strong structural systems. Each component of the mixture has its own functionality for the meat product as a whole.

A complex food additive based on animal and vegetable raw materials is a powdery, homogeneous bulk mass without any impurities, which allows its introduction into the formulation of meat products in the form of a powdered product, when hydration occurs directly when mixed and formed mince.

The optimal ratios of the constituent mixtures were developed and 9 prototypes were isolated. There are three experimental subgroups, each of which includes three samples.

It has been found that food additives based on animal and vegetable raw materials have high rates moisture retaining and fat-holding capacity. Studies of structural-mechanical properties with other technological parameters allowed to determine the formulation of the composition to obtain stable textured gels during hydration.

The analysis of the obtained results leads to the conclusion that the use of this food additive based on animal and vegetable raw materials for use in the meat industry has technological perspectives.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-26

---

## **РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ НА ОСНОВІ ТВАРИННОЇ ТА РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ**

**В. Ю. Сухенко, О. А. Штонда, Н. М. Сонько**

*Національний університет харчових технологій*

**Л. М. Шевчук**

*Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс»*

*У статті наведено результати органолептичних досліджень, основних функціонально-технологічних і структурно-механічних властивостей харчової добавки. Харчова добавка являє собою суміш таких складових: альгінату натрію, соєвої клітковини та сироваткового білка.*

*Дослідженню підлягали експериментально-встановлені зразки харчової добавки на основі тваринної та рослинної сировини, виготовлені шляхом ретельного змішування сухих складових у певному співвідношенні масових частин, які здатні створювати міцні структурні системи. Кожна складова суміші має свою функціональність для м'ясного продукту в цілому.*

*Комплексна харчова добавка на основі тваринної та рослинної сировини є порошкоподібною, однорідною сипучою масою без сторонніх домішок, що забезпечує її введення до складу рецептури м'ясних продуктів у вигляді порошкоподібного продукту, коли гідратація відбувається безпосередньо при змішуванні та утворенні фаршу.*

*Розроблено оптимальні співвідношення складових суміші та виділено 9 дослідних зразків, які розподілено на три дослідні підгрупи, до кожної з яких віднесено по три зразки. Встановлено, що харчова добавка на основі тваринної та рослинної сировини має високі показники ВУЗ та ЖУЗ. Дослідження структурно-механічних властивостей з іншими технологічними показниками дали змогу визначити рецептурний склад композиції для отримання стабільних текстурованих гелів при гідратації.*

*Аналіз отриманих результатів доводить, що використання харчової добавки на основі тваринної та рослинної сировини для застосування в м'ясній промисловості має технологічні перспективи.*

**Ключові слова:** *молочний білок, рослинна клітковина, альгінат натрію, багатофункціональна харчова добавка, емульсія.*

**Постановка проблеми.** Харчування є одним з найважливіших факторів нормального розвитку організму. Дотримання режиму правильного харчування забезпечує організм в усіх процесах обміну речовин для правильного функціонування та його розвитку. Енергетична цінність добово-спожитих продуктів має відповідати добовим енерговитратам людини [1; 2].

Аналізуючи динаміку харчування за останні роки, слід зазначити, що спостерігається зменшення споживання вітамінів, макро- та мікроелементів, поживних речовин рослинного походження та інших біологічно-активних

речовин, необхідних для природних процесів метаболізму організму [1; 3]. Зміни в раціоні харчування призводять до порушення процесу обміну речовин, тому зараз важливим є питання вирішення та збалансування раціону харчування населення.

М'ясопереробна галузь не є винятком, і тому залишається актуальним питанням збільшення виробництва м'ясної продукції з дієтичними властивостями, що передбачає введення до їх складу добавок на основі тваринного та рослинного походження. Але при цьому продукти повинні відповідати вимогам збалансованого харчування. Основним принципом створення харчових функціональних продуктів можна вважати зміцнення здоров'я людини шляхом впливу на відповідні фізіологічні реакції організму [2; 4].

Раціональне харчування є одним з головних факторів, що визначає здоров'я людини та нормальний розвиток організму. Одним із ефективних шляхів компенсації аліментарної недостатності в харчуванні є регулярне включення в рецептури функціональних продуктів харчових добавок різної профілактичної спрямованості. Сучасні тенденції в харчуванні населення вимагають отримання м'ясопродуктів мінімальної енергетичної цінності з мінімальною кількістю жиру, підвищеним вмістом білка, наявністю речовин, які покращують травлення, всмоктування й обмін речовин [5].

**Мета дослідження:** розробити комплексну харчову добавку з оптимальними складовими, які будуть забезпечувати її високими функціональними й технологічними показниками для продуктів нового покоління.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили в лабораторних умовах кафедри технології м'ясних, рибних і морепродуктів Національного університету біоресурсів та природокористування України.

Проведені органолептичні дослідження суміші, основні функціонально-технологічні та структурно-механічні властивості харчової добавки на основі тваринної та рослинної сировини [6].

**Викладення основних результатів дослідження.** Харчова добавка являє собою суміш таких складових: біологічно активний компонент, що містить альгінат натрію, харчове волокно, що містить соєву клітковину, і сироватковий білок. Комплексну харчову добавку виготовляють шляхом ретельного змішування складових компонентів у певному співвідношенні масових частин, що забезпечує гарні функціонально-технологічні показники. Кожна складова суміші має свою унікальну функціональність для продукту.

Сироватковими білками прийнято називати білки сироватки, яку отримують під час виробництва м'якого і твердого сирів. Білки цих видів сироватки подібні за фракційним складом і хімічною будовою [7]. Сироваткові білки у цілому та  $\alpha$ -лактоальбумін, зокрема, мають високу біологічну цінність. Їх амінокислотний склад вважають дуже близьким до складу «ідеального» білка.

Біологічна цінність молочної сироватки обумовлена вмістом у ній білкових азотистих сполук (насамперед незамінних амінокислот), вуглеводів, ліпідів, мінеральних солей, вітамінів, органічних кислот, ферментів, імунних тіл і мікроелементів [3; 5; 7].

Технологія виробництва клітковини забезпечує збереження всіх вітамінів, мінералів та органічних речовин, що містяться у свіжих продуктах. Клітковина являє собою баластну речовину, яка виводить з організму токсичні елементи і не накопичується в ньому. Харчові волокна є поживним субстратом для нормальної кишкової мікрофлори [8]. У складі суміші використовували харчові волокна (соєву клітковину) з довжиною 200 і 500 мкм.

Застосування альгілату натрію ґрунтується на здатності утворювати гелі, тобто працювати як згущувач і емульгатор. Гелі альгілату стійкі до дії низьких і високих температур, що позитивно відрізняє його від інших гелів. Альгілати розчинні у гарячій і холодній воді, що є важливим показником при додаванні до рецептури у вигляді порошкоподібної добавки. Альгілати не засвоюються організмом людини, але сприяють виведенню важких металів та деяких інших речовин з нього [9].

Здатність альгілату натрію поглинати й утримувати вологу, утворюючи гелі різної міцності, основний фактор при розробці харчової добавки. Мінімальний гідромодуль, при якому відбувається повне набухання альгілату, — 1:8. Подальше збільшення цього значення призводить до зниження в'язкої структури гелю.

Технологія виробництва харчової добавки ґрунтується на реалізації функціональних властивостей сировини харчових інгредієнтів, які здатні створювати структурні системи. Комплексна харчова добавка на основі тваринної та рослинної сировини є порошкоподібною, однорідною сипучою масою без сторонніх домішок, що забезпечує її введення до складу будь-якої рецептури січених напівфабрикатів у вигляді порошкоподібного продукту, коли гідратація відбувається безпосередньо при змішуванні й утворенні фаршу.

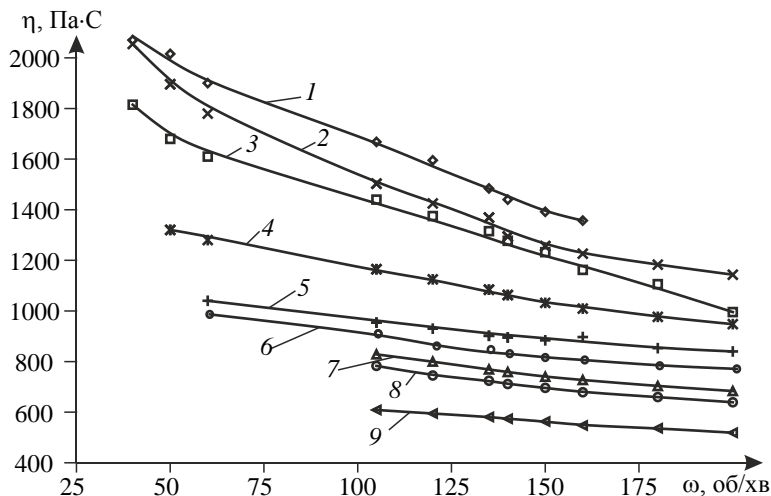
У процесі дослідження було підібрано оптимальні співвідношення складових суміші та виділено 9 дослідних зразків, які розподілено на три дослідні підгрупи, до кожної з яких відноситься по три зразки. Кожен зразок має у своєму складі однакову кількість альгілату натрію. Перша підгрупа містить однакову кількість білка, але різну кількість клітковини. Наступна підгрупа має підвищений вміст білка порівняно з попередньою та різну кількість клітковини відповідно. Третя підгрупа аналогічна другій.

Для визначення всіх технологічних показників проводили гідратацію суміші у співвідношенні суміш: вода — 1:10; 1:15; 1:20. За результатами вирішено використовувати гідратацію суміші у співвідношенні суміш: вода — 1:15. За таких умов не утворювались важкорозчинні скупчення грудочок, суміш мала оптимальну консистенцію, оскільки при високій гідратації зразки не володіють необхідними технологічними показниками, характерними для м'ясних систем.

Визначення структурно-механічних показників зразків проводили на віскозиметрі з використанням адаптера ротаційного типу з коаксіальними циліндрами в діапазоні швидкостей зсуву. Методика визначення структурної в'язкості: наважку зразка піддавали гідратації, поміщали в камеру і опускали в

неї вибраний шпindelь, який приводили в обертання і фіксували значення в'язкості ( $\eta$ ) та швидкості ( $\omega$ ), які автоматично виводяться на дисплей приладу.

Показники в'язкості кожного з окремих дослідних зразків суміші зображені на рисунку.



**Рис. Показники в'язкості дослідних зразків харчової добавки:** 1 — зразок № 1; 2 — зразок № 2; 3 — зразок № 3; 4 — зразок № 4; 5 — зразок № 5; 6 — зразок № 1; 7 — зразок № 7; 8 — зразок № 8; 9 — зразок № 9

Як видно з графіка (рис. 1) зі збільшенням білка та соєвої клітковини в дослідних зразках, а також зі збільшенням швидкості обертання шпindelя в'язкість гелів знижується.

Також були проведені визначення активної кислотності (рН), які характеризують кислотний стан складових частин суміші (табл. 1).

*Таблиця 1. Показники активної кислотності*

№п/п	Показник	Активна кислотність (рН)
1	Білок молочної сироватки МолПро 900	6,501
2	Альгінат натрію	6,375
3	Соєва клітковина	6,93
4	Харчова добавка на основі тваринної та рослинної сировини	6,462

Керуючись показниками активної кислотності, слід зазначити, що в результаті змішування всіх компонентів маємо суміш з невисоким показником рН. Такий числовий показник підтверджує доцільність використання добавки в м'ясному виробництві.

Серед функціонально-технологічних властивостей обраних інгредієнтів слід відзначити високі показники волого- та жируотримувальної здатності (табл. 2), а також стабільність емульсії та емульгуючу здатність (табл. 3).

*Таблиця 2. Показники функціональних властивостей*

№ п/п	Дослідні зразки харчової добавки	ЖУЗ, мл жиру/г продукту	ВУЗ, г води/г продукту
1	Зразок 1	0,8	0,91
2	Зразок 2	1,0	1,01
3	Зразок 3	1,25	1,11
4	Зразок 4	1,0	0,99
5	Зразок 5	1,15	1,12
6	Зразок 6	1,25	1,22
7	Зразок 7	1,25	1,23
8	Зразок 8	1,5	1,32
9	Зразок 9	1,7	1,44

*Таблиця 3. Показники СЕ та ЕЗ окремих складових харчової добавки*

Показник	Група	
	ЕС, %	СЕ, %
Соева клітковина Біотонцель-60	74,0	92,0
Білок молочної сироватки МолПро 900	70	89,5

Усі зразки мають високі показники ЖУЗ та ВУЗ, але найбільш оптимальними є показники другої підгрупи (зразки 4, 5, 6). Отримані результати вказують на високу здатність до набухання у воді та олії. Показники емульгуючої здатності та стабільності емульсії надають харчовій добавці на основі тваринної та рослинної сировини підвищеної функціональності, що позитивно впливає на вихід готової продукції, покращує пружність і соковитість м'ясних виробів. Харчова добавка надає можливість розширення асортименту м'ясних виробів з високими органолептичними та фізико-хімічними показниками.

### **Висновки**

Отже, харчова добавка на основі білка молочної сироватки, соєвої клітковини та альгінату натрію є гарним складовим компонентом для м'ясної промисловості. Експериментальним шляхом встановлено оптимальні співвідношення компонентів, враховуючи всі технологічні аспекти.

Введення білка молочної сироватки до складу суміші становить від 8,0 до 17,4% до загальної маси добавки. Збільшення чи зменшення дози призводить до погіршення технологічних показників. Введення до складу комплексної харчової добавки соєвої клітковини у відсотковому співвідношенні 17,4 — 32,0 є оптимальним, тому що при збільшенні дозування спостерігається зменшення щільності структури, що в подальшому матиме негативні показники готових виробів. Введення до складу суміші альгінату натрію від 55,6 до 71,5% є раціонально обґрунтованим тому, що при зменшенні чи збільшенні дозування буде спостерігатися зниження чи збільшення пружності фаршу.

Отримані результати підтвердили, що використання харчової добавки на основі тваринної та рослинної сировини для м'ясопереробної промисловості

є одним із альтернативних шляхів вирішення проблеми дефіциту м'ясної сировини та збалансування раціону харчування населення.

### Література

1. Пішак В. П., Бабюк А. В., Воробйов О. О., Рогозинський М. С. та ін. Вплив харчування на здоров'я людини; за редакцією М. М. Радька. Чернівці: Книги ХХІ, 2006. 500 с.
2. Сирохман І. В., Завгородня В. М. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: Навч. пос. К.: Центр учбової літератури, 2009. 544 с.
3. Павлоцкая М. Ф., Дуденко Н. В., Евлаш В. В. Пищевая, биологическая ценность и безопасность сырья и продуктов его переработки: учебник. К.: Фирма ИНКОС, 2007. 287 с.
4. Сборник научных трудов МПА: Вып. VII/1; Под ред. В. А. Бутковского. М.: Троицкий мост, 2009. 216 с.
5. Мартынов А. В. Проблемы дефицита белка в рационе питания россиян и пути их решения. *Молочная промышленность*. 2000. № 7. С. 11—15.
6. Антипова Л. В., Глотова И. А., Рогов И. А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. М.: Колос, 2001. 376 с.
7. Шипулин В. И., Стрельченко А. Д. Разработка и использование адаптированного к мясным системам белково-углеводного концентрата на основе молочной сыворотки. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 74. С. 54—62.
8. Зимняков В. М., Брендин Н. В. Оценка технологической эффективности применения пищевых клетчаток в производстве мясопродуктов. *Молочная река*. 2008. № 7.
9. Пивоварова О. П. Дослідження стану води та вологоутримуючої здатності структурованих систем на основі альгінату натрію. Зб. наук. пр. Харк. держ. ун-т. харчування та торгівлі. 2009. Випуск № 2(10). С. 170—177.

УДК 637.144.045

CHARACTERISTICS OF THE MOLECULAR WEIGHTS  
OF WHEY PROTEIN CONCENTRATE PROTEOLYSIS  
PRODUCTS OBTAINED BY THE ACTION  
OF PANCREATINE

V. Yukalo, K. Datsyshyn, G. Semenyshyn

*Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University*

---

**Key words:**

*Whey protein concentrate  
Proteolysis  
Molecular weight  
distribution of peptides  
Gel filtration*

---

**Article history:**

Received 18.09.2019  
Received in revised form  
02.10.2019  
Accepted 16.10.2019

---

**Corresponding author:**

V. G. Yukalo

**E-mail:**

biotech@tu.edu.te.ua

**ABSTRACT**

---

Recent decades studies testify that the value of whey proteins is associated with their biological activity, which may be manifested at the level of numerous bioactive peptides. Such peptides can affect the functions of the digestive, cardiovascular, nervous and immune systems of the body. However, when proteolysis is used in the technological processes with milk whey, conditions for the formation of natural bioactive peptides (BAP) are not always provided. The ability to form natural biologically active peptides is closely associated to the degree of proteolysis of their individual proteins-precursor, as well as to the molecular weight distribution of the resulting proteolysis products.

Whey protein concentrate (WPC) was used as the substrate for proteolysis. The fractional composition of WPC proteins was determined by express electrophoresis in the anode system of a homogeneous polyacrylamide gel (PAG). Proteolysis of 15% WPC was performed in physiological conditions (pH 7.9; 37°C) at the ratio of E:S = 1:20. Samples were taken after 120 minutes of proteolysis to characterize the molecular weight distribution. The amount of products after proteolysis that are not precipitated by 5% trichloroacetic acid is more than 70% at that moment. Three types of Sephadexes were selected for gel filtration of WPC proteolysis products: Sephadex G—10 (0—700 Da), Sephadex G—25 (1000—5000 Da) and Sephadex G—50 (1500—30000 Da). Unsplit proteins and polypeptides in the selected samples were precipitated by trichloroacetic acid before the gel filtration. Use of Sephadexes G—10, G—25 and G—50 combination in gel filtration of WPC proteolysis products by pancreatin in physiological conditions allows to isolate five ranges of peptides and polypeptides by molecular weight. Two of them (0—700 Da and 700—1500 Da) comprise almost 40% of all products of proteolysis, which can contain about 80% of all known BAP from milk whey proteins.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-27

---

## ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛЕКУЛЯРНИХ МАС ПРОДУКТІВ ПРОТЕОЛІЗУ КОНЦЕНТРАТУ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ, ОТРИМАНИХ ЗА ДІЇ ПАНКРЕАТИНУ

В. Г. Юкало, К. Є. Дацишин, Г. М. Семенишин

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Дослідження останніх десятиліть свідчать про те, що цінність білків сироватки молока пов'язана з їх біологічною активністю, що може проявлятися на рівні численних біоактивних пептидів. Такі пептиди впливають на функції травної, серцево-судинної, нервової та імунної систем організму. Проте при використанні протеолізу в технологічних процесах переробки сироватки не завжди забезпечуються умови для утворення природних біоактивних пептидів (БАП). Можливість утворення природних біологічно активних пептидів тісно пов'язана із ступенем протеолізу їх окремих протеїнів-попередників, а також молекулярно-масовим розподілом отриманих продуктів протеолізу.*

*Як субстрат для проведення протеолізу було використано концентрат сироваткових білків (КСБ). Фракційний склад білків КСБ було визначено з допомогою експрес-електрофорезу в анодній системі однорідного поліакриламідного гелю (ПАГ). Протеоліз 15% КСБ проводили у фізіологічних умовах (рН 7,9; 37°C) при співвідношенні E:S = 1:20. Для характеристики молекулярно-масового розподілу відбирали зразки через 120 хвилин протеолізу. На цей момент кількість продуктів протеолізу, що не осаджуються 5-відсотковою трихлороцтовою кислотою становить більше 70%. Для проведення гель-фільтрації продуктів протеолізу КСБ були вибрані три типи сефадексів: сефадекс G-10 (0—700 Да), сефадекс G-25 (1000—5000 Да) і сефадекс G-50 (1500—30000 Да). Перед гель-фільтрацією у відібраних взірцях осаджували нерозщеплені білки і поліпептиди трихлороцтовою кислотою. Застосування комбінації сефадексів G-10, G-25 і G-50 при гель-фільтрації продуктів протеолізу КСБ панкреатином у фізіологічних умовах дає змогу виділити п'ять діапазонів пептидів і поліпептидів за молекулярними масами. До двох з них (0—700 Да і 700—1500 Да) входять майже 40% всіх продуктів протеолізу, які можуть містити близько 80% усіх відомих БАП з протеїнів сироватки молока.*

**Ключові слова:** *концентрат сироваткових білків, протеоліз, молекулярно-масовий розподіл пептидів, гель-фільтрація.*

**Постановка проблеми.** За сучасними уявленнями цінність білків сироватки молока значною мірою пов'язана з їх біологічною активністю, яка може проявлятися на рівні інтактних молекул, а також численних біоактивних пептидів. Такі пептиди утворюються під дією ферментів шлунково-кишкового тракту в процесі нормального травлення. Проте при використанні протеолізу в технологічних процесах переробки сироватки не завжди забез-

печуються умови для утворення природних біоактивних пептидів (БАП). Це передусім стосується параметрів протеолізу (рН, температура), а також специфічності протеолітичної дії ферментних препаратів. Як правило, відсутній адекватний контроль, який би підтверджував можливість утворення біоактивних пептидів. При проведенні протеолізу протеїнів сироватки за використання препаратів травних протеаз у фізіологічних умовах важливим критерієм може бути молекулярно-масовий розподіл отриманих пептидів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останнє десятиліття охарактеризовано більше сотні різних біоактивних пептидів з білків сироватки молока [1; 2] і доведено їхній позитивний вплив на різні фізіологічні системи організму. Серед таких пептидів найбільш поширеними є лактокініни. Вони здатні гальмувати дію ангіотензин-перетворювального ензиму, що призводить до зниження артеріального тиску [3]. Важливе місце серед біоактивних пептидів займають антимікробні пептиди. Вони утворюються переважно з лактоферину,  $\alpha$ -лактальбуміну і в меншій мірі з  $\beta$ -лактглобуліну [4]. Ці пептиди пригнічують розвиток багатьох хвороботворних бактерій, а також вірусів. З  $\alpha$ -лактальбуміну виділено ряд імуномодуляторних пептидів, які здатні активувати проліферацію лімфоцитів і синтез антитіл, підвищувати активність природних клітин кілерів. Вони також можуть підвищувати імунітет клітин слизової шлунково-кишкового тракту і знижувати вияви алергічних реакцій [5]. Також серед БАП з сироваткових білків знайдені опіюїдні пептиди, пептиди, з холестеролемічною дією, регулятори перистальтики, пептиди, які впливають на апетит [6].

Майже всі відомі БАП були отримані за дії травних протеаз. Переважно це був комплексний ферментний препарат панкреатин. Деякі БАП були отримані за дії ферментів, які входять до складу панкреатину — трипсину і хімотрипсину [2].

Значення молекулярних мас відомих БАП з білків сироватки молока знаходиться в межах від 100 до 2000 Да. Тож, якщо при використанні панкреатину у фізіологічних умовах для протеолізу білків сироватки молока утворюються пептиди із такою молекулярною масою, велика ймовірність, що серед них будуть природні БАП.

Найчастіше для характеристики молекулярних мас продуктів протеолізу білків сироватки використовували ексклюзивну хроматографію на сефадексі G-25, а також G-50, G-75 і навіть G-100 [3; 7—8]. Проте жоден з цих гелів не здатен дати повну картину молекулярно-масового розподілу продуктів протеолізу. Так, найбільш популярний сефадекс G-25 дає змогу оцінити вміст двох груп пептидів з молекулярними масами від 0 до 1000 Да і від 1000 до 3000 Да. В першу групу не входять всі БАП, а в другу групу, окрім БАП, потрапить багато великих пептидів без біологічної дії. Подібна ситуація з сефадексами G-75 і, особливо, G-100. У зв'язку з цим перспективним може бути використання для визначення молекулярно-масового розподілу поєднанням декількох сефадексів з низькими значеннями молекулярних мас молекул, які виключаються гранулами гелю.

**Мета дослідження:** характеризувати гель-фільтрацією молекулярно-масовий розподіл продуктів протеолізу концентрату сироваткових білків за дії панкреатину.

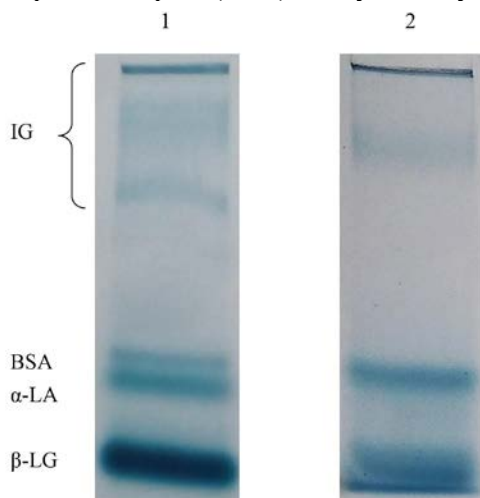
**Матеріали і методи.** Як субстрат для протеолізу використовували концентрат сироваткових білків (КСБ), вироблений на ТОВ «Бучацький сирзавод» згідно з проектом ТУ У 15.5-00419880-XXX:2011 «Концентрат сироваткових білків (КСБ-УФ). Технічні умови» з масовою часткою білка 72,0. Сироватку молока виділяли центрифугуванням знежиреного свіжого молока після осадження казеїну в ізоелектричній точці. Протеоліз проводили панкреатином виробництва ПрАТ «Технолог» (Україна). Електрофорез білків сироватки і КСБ проводили експрес-методом в однорідному поліакриламідному гелі (ПАГ) [9]. Протеолітичну активність ферментного препарату визначали за методом В. Селеменєва [10].

У процесі дослідження використані реактиви фірми «Reanal», а також вітчизняні реактиви високого ступеня очистки.

Концентрацію білків сироватки і продуктів їх протеолізу визначали спектрофотометрично при довжині хвилі  $\lambda = 280$  нм. При цьому використовували коефіцієнт абсорбції ( $D_{1\text{cm}}^{1\%}$ ) — 12,3 [3].

Гель-фільтрацію продуктів протеолізу КСБ проводили на колонках з набору для рідинної хроматографії фірми «Reanal» (Угорщина). При цьому були використані три типи сефадексів G-10, G-25, G-50.

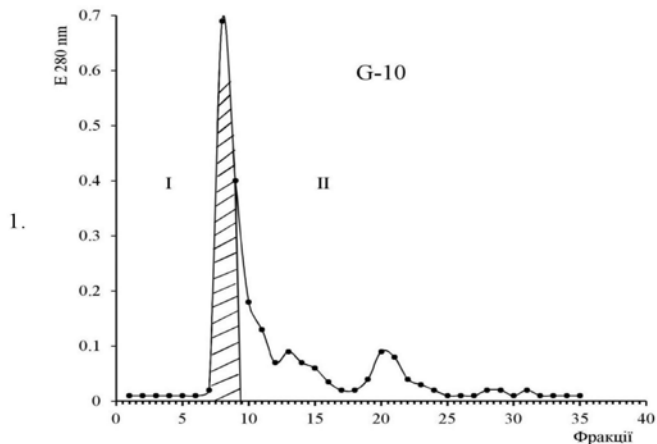
**Результати і обговорення.** Як субстрат для проведення протеолізу було використано КСБ. Фракційний склад білків КСБ було визначено з допомогою експрес-електрофорезу в анодній системі однорідного ПАГ, яка була спеціально розроблена для аналізу молочної сироватки [9]. Метод дає змогу надійно ідентифікувати всі основні попередники БАП у сироватці молока. Результати аналізу показані на рис. 1. На електрофореграмі КСБ видно типовий фракційний склад протеїнів сироватки молока:  $\beta$ -лактоглобулін ( $\beta$ -LG),  $\alpha$ -лактоальбумін ( $\alpha$ -LA), альбумін сироватки крові (BSA) та імуноглобуліни (IG).



**Рис. 1. Електрофореграма протеїнів сироватки молока (1) і концентрату сироваткових білків (2)**

Протеоліз 15% КСБ проводили у фізіологічних умовах (рН 7,9; 37°C) при співвідношенні Е:С = 1:20. Таке співвідношення використовується при виробництві гідролізатів білків молочної сироватки для дитячих і гіпоалергенних продуктів [8]. Для характеристики молекулярно-масового розподілу відбирали зразки через 120 хв протеолізу. На цей момент кількість продуктів протеолізу, що не осаджуються 5 відсотковою трихлороцтовою кислотою, становить більше 70%.

Для проведення гель-фільтрації продуктів протеолізу КСБ були вибрані три типи сефадексів з низькими значеннями молекулярних мас діапазону фракціонування пептидів. Це були: сефадекс G-10 (0—700 Да), сефадекс G-25 (1000—5000 Да) і сефадекс G-50 (1500—30000 Да). Комбінація таких сефадексів при гель-фільтрації дає змогу оцінити вміст низькомолекулярних пептидів гідролізату, серед яких знаходяться відомі БАП. Перед гель-фільтрацією у відібраних взірцях осаджували нерозщеплені білки і поліпептиди трихлороцтовою кислотою. Для запобігання втратам елюцію низькомолекулярних пептидів проводили в 5-відсотковій оцтовій кислоті. Результати гель-фільтрації показані на хроматограмах (рис. 2). З урахуванням молекулярних мас виключення кожна хроматограма розділена на сектори. Хроматографічні фракції кожного сектору об'єднували і визначали загальний вміст продуктів протеолізу. Результати були отримані на основі трьох гель-фільтрацій з кожним типом сефадексу. За молекулярними масами було виділено п'ять діапазонів. Результати розрахунків вмісту пептидів кожного діапазону і їх відсоток від загального вмісту продуктів протеолізу показані в табл. 1. Відомо, що близько половини БАП з білків сироватки молока мають молекулярні маси до 700 Да [2; 3]. Приблизно ще 30% БАП знаходяться в діапазоні від 700 до 1500 Да. Незначна частина БАП знаходиться у низькомолекулярній частині третього діапазону (від 1500 Да до 5000 Да). Сюди переважно відносяться біоактивні поліпептиди з лактоферину з бактерицидною та імуномодуляторною дією [4]. В сукупності серед продуктів протеолізу КСБ пептиди і поліпептиди, серед яких можуть бути БАП, становить більше 40%.



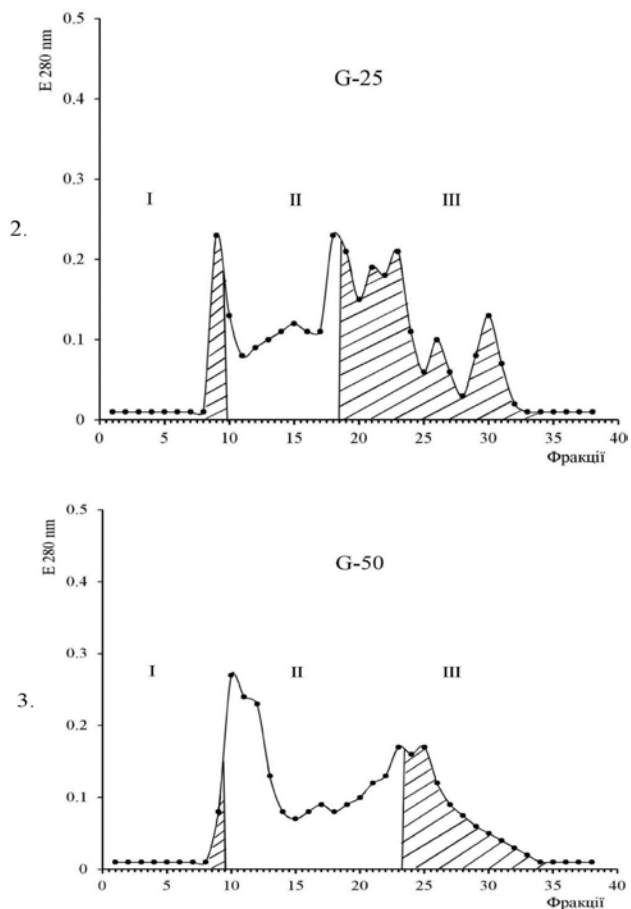


Рис. 2. Хроматограми панкреатинного гідролізату КСБ, отримані гель-фільтрацією на сефадексі G-10 (1), G-25 (2) і G-50 (3)

Оскільки протеоліз проводили у фізіологічних умовах з використанням ферментного препарату з підшлункової залози, то можна стверджувати, що всі природні БАП входять до складу гідролізату.

Таблиця 1. Молекулярно-масовий розподіл продуктів протеолізу КСБ панкреатином

Діапазон молекулярних мас (Да)	>30000	30000>M>5000	5000>M>1500	1500>M>700	>700
Кількість продуктів протеолізу (мг)	4±1	21±3	65±5	18±3	36±4
Відсоток від загальної кількості продуктів протеолізу (%)	3%	14%	45%	13%	25%

## Висновок

Застосування комбінації сефадексів G-10, G-25 і G-50 при гель-фільтрації продуктів протеолізу КСБ панкреатином у фізіологічних умовах дає змогу виділити п'ять діапазонів пептидів і поліпептидів за молекулярними масами. До двох з них (0—700 Да і 700—1500 Да) входять майже 40% усіх продуктів протеолізу, які можуть містити близько 80% всіх відомих БАП з протеїнів сироватки молока.

## Література

1. Brandelli A., Daroit D. J., Correa A. P. F. Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. *Food Research International*. 2015. V. 73. P. 149—161. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.016>.
2. Iukalo A. V., Datsyshyn K. Ye., Yukalo V. G. Bioaktyvni peptydy proteiniv syrovatky moloka koriv (Bos Taurus). *Biotechnologia Acta*. 2013. V. 6(5). 49—61. doi: 10.15407/biotech6.05.049.
3. Fox P. F., Uniacke-Lowe T., McSweeney P. L. H., O'Mahony J. A. Dairy Chemistry and Biochemistry (Second Editon). New York: Springer, 2015. 585 p. doi: 10.1007/978-3-319-14892-2.
4. Madureira A. R., Pereira C.I., Gomes A. M. P. Bovine whey proteins — Overview on the main biological properties. *Food Research International*. 2007. V. 40(10). P. 1197—1211.
5. Gauthier S. F., Pouliot Y., Saint-Sauveur D. Immunomodulatory peptides obtained by the enzymatic hydrolysis of whey proteins. *International Dairy Journal*. 2006. V. 16(11). P. 1315—1323.
6. Korhonen H., Pihlanto A. Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*. 2006. V. 16(9). P. 945—960.
7. Данилов И. М., Забодалова Л. А., Скопичев В. Г., Жичкина Л. В. Получение низкомолекулярных пептидов молока и исследование их иммуностимулирующей активности. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. Т. 70(06). С. 1—9.
8. Декуша Г.В. Розробка технології сухих сумішей з гідролізованим білком для дитячого харчування: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16. Одеса, 2009. 157 с.
9. Yukalo V., Datsyshyn K., Storozh L. Electrophoretic system for express analysis of whey protein fractions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. V. 2(11 (98)). P. 37—44. doi: 10.15587/1729-4061.2019.160186.
10. Польшалина Г. В. Определение активности ферментов. Справочник / Г. В. Польшалина, В. С. Чердниченко, Л. В. Римарева. М.: Де Ли принт, 2003. 375 с.

RESEARCH OF MOISTURE CONTENT IN FORMED  
POTATO CHIPS

**A. Kovtun, V. Kovbasa, K. Soloschenko, V. Soloschenko**

*National University of Food Technologies*

**O. Baldyniuk**

*Association "Ukrkondprom"*

---

**Key words:**

*Chips*

*Potato cereals*

*Bran*

*Pumpkin seed cake*

*Humidity*

---

**Article history:**

Received 19.09.2019

Received in revised form

01.10.2019

Accepted 16.10.2019

---

**Corresponding author:**

V. Kovbasa

**E-mail:**

hlib@i.ua

---

**ABSTRACT**

The paper presents the study of the moisture content in formed potato chips by the method of dynamic thermogravimetry, since it allows to make simultaneously measurements of the temperature of the test samples (T), measurements of their mass (TG), rate of change of mass (DTG), enthalpy changes (DTA).

Thermogravimetry (TG) is a method of thermal analysis in which mass change depending on temperature is recorded. The TG curve gives information about the thermal stability and composition of the sample in the initial state, formed at intermediate stages of the process, and the composition of the residue, if it is presented. This method will be effective only if the sample releases volatiles as a result of various physical and chemical processes.

The method of differential thermal analysis is based on a comparison of the properties of the sample of the test substance and thermally inert substance, taken as a standard. The recording parameter is the difference in their temperatures, measured when the sample is heated or cooled at a constant speed, which can be represented as a function of the sample or reference temperature. Changes in the sample temperature are caused by physical transitions or chemical reactions associated with enthalpy changes. They include: phase transitions, melting, restructuring of the crystalline structure, boiling, sublimation and evaporation, reactions of dehydration, dissociation and decomposition, oxidation and reduction, destruction of the crystal lattice, etc. These transformations are accompanied by heat absorption or release. In general, phase transitions, dehydration, reduction, and some decomposition reactions are accompanied by endothermic effects, and crystallization, oxidation, and certain decomposition processes are accompanied by exothermic effects.

Formed potato chips were developed using potato cereals, rye, barley and pumpkin seeds. The dough-like mass was formed and baked-dried at a temperature of 135—140°C during 3.5—4.5 minutes. Moisture study were performed immediately after production.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2019-25-5-28

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВОЛОГИ У ФОРМОВАНИХ КАРТОПЛЯНИХ ЧИПСАХ

А. В. Ковтун, В. М. Ковбаса, К. В. Солошенко, В. Ю. Солошенко

Національний університет харчових технологій

О. В. Балдинюк

Асоціація «Укркондпром»

У статті досліджено вмісту вологи у формованих картопляних чипсах методом динамічної термогравіметрії, оскільки вона дає змогу робити водночас виміри температури випробуваних зразків (Т), виміри їх маси (ТГ), швидкості зміни маси (ДТГ), зміни ентальпії (ДТА).

Термогравіметрія (ТГ) — метод термічного аналізу, при якому реєструється зміна маси залежно від температури. ТГ-крива дає інформацію про термостабільність і склад зразка в початковому стані, що утворюються на проміжних стадіях перебігу процесу. Цей метод буде ефективним лише за умови, що зразок виділяє леткі речовини в результаті різних фізичних і хімічних процесів.

Метод диференціального термічного аналізу заснований на порівнянні властивостей зразка досліджуваної речовини і термічно інертної речовини, прийнятої за еталон. Реєструючим параметром служить різниця їхніх температур, вимірювана при нагріванні чи охолодженні зразка з постійною швидкістю, що може бути представлена у вигляді функції температури зразка чи еталона. Зміна температури зразка викликається фізичними переходами чи хімічними реакціями пов'язаними зі змінами ентальпії. До них відносяться: фазові переходи, плавлення, перебудова кристалічної структури, кипіння, сублимація і випаровування, реакції дегідратації, дисоціації і розкладання, окислювання і відновлення, руйнування кристалічних ґрат тощо. Ці перетворення супроводжуються поглинанням чи виділенням тепла. У загальному випадку фазові переходи, дегідратація, відновлення і деякі реакції розкладання супроводжуються ендотермічними ефектами, а кристалізація, окислювання й окремі процеси розкладання — екзотермічними ефектами.

Формовані картопляні чипси розробляли з використанням картопляної крупки, висівки жита, ячменя та жмиху гарбузового насіння. Тістоподібну масу формували та випікали-висушували при температурі 135–140°C, протягом 3,5-4,5 хв. Дослідження вологи проводили відразу після виробництва.

**Ключові слова:** чипси, картопляна крупка, висівки, жмих гарбузового насіння, вологість.

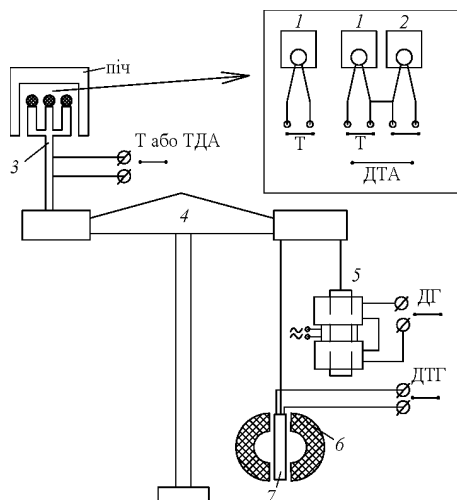
**Постановка проблеми.** Основним завданням під час зберігання формованих картопляних чипсів є збереження їх якості протягом усього періоду. Одним із показників, що впливає на термін зберігання готових чипсів, є відносна вологість повітря, а також масова частка вологи. Відомо, що при

взаємодії формованих картопляних чипсів з повітрям відбуваються процеси, внаслідок яких змінюються їх показники якості, насамперед органолептичні (смак, запах), підвищується кислотність, а також збільшується пероксидне число, що призводить до утворення вторинних продуктів розпаду жирів. Тому важливим завданням є дослідження вмісту вільної та зв'язаної вологи в самих чипсах, оскільки їх співвідношення суттєво впливає на термін зберігання формованих картопляних чипсів [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що формовані картопляні чипси обсмажуються в фритюрній олії і мають термін зберігання до трьох місяців при відносній вологості повітря 75%. Формовані картопляні чипси, окрім фритюрного жиру містять також крохмаль, тому при надмірному їх споживанні виникає ризик шлунково-кишкових, серцево-судинних захворювань, тощо. Нині науковці інтенсивно працюють над можливістю зниження кількості жиру, крохмалю, але при цьому прагнуть продовжити термін зберігання формованих картопляних чипсів. Отож дослідні зразки формованих картопляних чипсів випікали–висушували за запропонованою технологією без фритюрної олії. Відповідно до розробленої рецептури частину картопляної крупки замінено на висівки та жмих. Співвідношення картопляної крупки до висівок жита, ячменю, жмиху гарбузового насіння обрано як (4:1), оскільки таке дозування забезпечує задовільні органолептичні, структурно-механічні та фізико-хімічні показники готових виробів [1].

**Метою дослідження** є дослідження вмісту вільної та зв'язаної вологи термогравіметричним методом у готових формованих картопляних чипсах та її впливу на термін зберігання готових формованих картопляних чипсів.

**Матеріали і методи.** Експериментальні дослідження проводили на приладі дериватограф Q-1500 D. Принципова схема дериватографа системи Paulik-Paulik-Erdey Q-1500 D зображена на рис. 1.



**Рис.1. Принципова схема дериватографа Q-1500 D:**

- 1 — тигель зі зразком; 2 — тигель з еталоном; 3 — керамічна трубка; 4 — термоваги;  
5 — диференціальний трансформатор; 6 — магніт; 7 — котушка

Прилад оснащений аналітичними термовагами (4) на одному коромислі, до яких прикріплений керамічний утримувач (3) для зразків і еталона. На утримувачі розміщені три термопари. На дві термопари поміщали тиглі із зразками (1), а на третю — тигель з еталонною речовиною (2). Прилад може працювати в двох режимах: режим проведення простої термометрії і режим проведення диференціальної термометрії. У першому випадку використовується одна проста термопара, на якій розміщений тигель зі зразком. У другому — диференціальна термопара, що складається з двох простих термопар, підключених однойменними полюсами один до одного. На одній з них розміщується тигель зі зразком, на іншій — з еталонною речовиною. Вибір одного з режимів зйомки здійснюється за допомогою перемикача, розташованого на передній панелі приладу.

На іншому коромислі ваг розміщені два пристрої, за допомогою яких вимірюють втрату ваги і швидкість втрати ваги зразка. Принцип роботи цих пристроїв заснований на явищі магнітної індукції.

Для вимірювання втрати ваги використовують диференційний трансформатор (5), який характеризується високою чутливістю і точністю вимірювання. Він перетворює рух плеча ваг в електричний сигнал, який фіксується реєструючим пристроєм.

Крива ДТГ виходить за допомогою пристосування, що складається з постійного магніту (6) та індукційної котушки (7). Під час зміни маси зразка в котушці виникає індукційний струм, величина якого пропорційна швидкості зміни маси.

Сигнали від термопар, диференціального трансформатора та індукційної котушки подаються через підсилювач на ДТГ. Таким чином на моніторі комп'ютера одночасно відображаються криві простого (Т) і диференціального термічного (ДТА) аналізів, крива втрати маси (ТГ) і крива швидкості втрати маси (ДТГ) [3; 4].

**Результати і обговорення.** Під час проведення досліджень було обрано чотири зразки формованих картопляних чіпсів:

- № 1 — формовані картопляні чіпси (контроль);
- № 2 — формовані картопляні чіпси з висівками жита;
- № 3 — формовані картопляні чіпси з висівками ячміння;
- № 4 — формовані картопляні чіпси зі жмихом гарбузового насіння.

Готові зразки досліджували за термогравіметричним і диференціально-термічним аналізом. Були отримані температурні залежності ТГ, ДТГ та ДТА для досліджуваних зразків (рис. 2—5).

При нагріванні зразка формованих картопляних чіпсів контроль (зразок № 1) відбувається втрата маси на  $\Delta m = 8,5\%$ , яка супроводжується ендотермічними піками на залежності ДТА при  $t_1 = 114^\circ\text{C}$  та  $t_2 = 150^\circ\text{C}$ . Саме в цих температурних діапазонах починає інтенсивно випаровуватися волога, оскільки сировина містить в собі до 80% крохмалю, який за своєю природою має кристалічну структуру і може легко віддавати вологу.

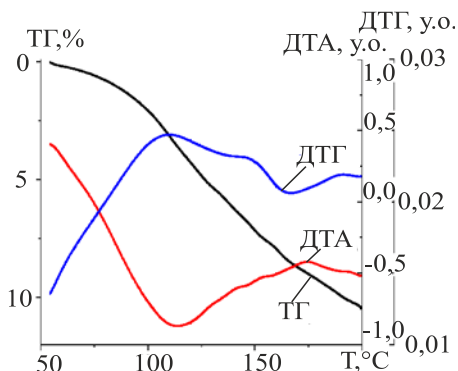


Рис. 2. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 1

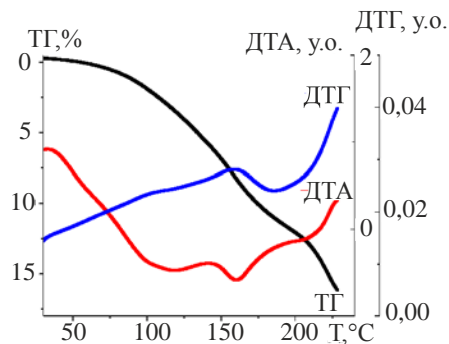


Рис. 3. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 2

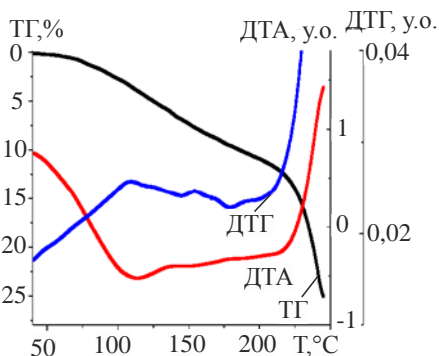


Рис. 4. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 3

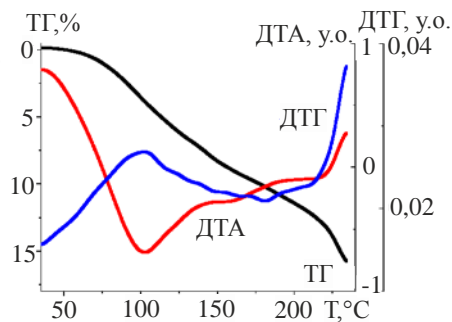


Рис. 5. Температурні залежності втрати маси ТГ, диференціально-термічного аналізу ДТА та похідної від втрати маси ДТГ для зразка № 4

При зростанні температури до  $t_3 = 170^\circ\text{C}$  в зразку починає відбуватися термоокислювальна деструкція, під час якої продукт згорає та розпадається на молекулярні частинки різної природи (рис. 5). При нагріванні зразка формованих картопляних чипсів з висівками жита (зразок № 2) відбувається втрата маси на  $\Delta m = 11,5\%$ , яка супроводжується виділенням тепла й утворенням піків на залежності ДТА при  $t_1 = 119^\circ\text{C}$  та  $t_2 = 160^\circ\text{C}$ . Якщо порівняти з контрольним зразком № 1, у зразку № 2 втрачається на 35% більше вологи. Очевидно це пов'язано з більшими розмірами фракцій висівок жита порівняно з картопляною крупкою, а також з їх здатністю утворювати грубіші макропори, крізь які легше випаровуватиметься вода під час термічного оброблення. При зростанні температури до  $t_3 = 186^\circ\text{C}$ , як і в попередньому зразку, починає відбуватися термоокислювальна деструкція (рис. 3). При нагріванні формованих картопляних чипсів з висівками ячменю (зразок № 3) відбувається втрата маси на  $\Delta m = 9,6\%$ , ДТА при  $t_1 = 113^\circ\text{C}$  та

$t_2 = 159^\circ\text{C}$ . Якщо порівняти з контрольним зразком № 1, втрата маси у зразку № 3 більша на 13%. Це пояснюється тим, що в структурі ячмінних висівків міститься менша кількість борошнистих частинок, а більше харчових волокон, які здатні добре віддавати вологу. На відміну від контрольного зразка № 1 термоокислювальна деструкція в зразку № 3 відбувається при вищій температурі  $t_3 = 179^\circ\text{C}$  (рис. 4).

У формованих картопляних чипсах зі жмихом гарбузового насіння (зразок № 4) під час нагрівання відбувається втрата маси на  $\Delta m = 10,3\%$  на залежності ДТА при  $t_1 = 103^\circ\text{C}$  та  $t_2 = 152^\circ\text{C}$ . Порівняно з контрольним зразком № 1 втрата вологи в зразку № 4 більша на 21%. Імовірно, це пояснюється різницею хімічного складу сировини, адже в жмисі гарбузового насіння міститься більше харчових волокон, переважна кількість яких є нерозчинна, а також до 21% білків, які збалансовані за амінокислотним складом. У контрольному зразку переважає частково клейстеризований крохмаль. Отже, за рахунок переважної кількості харчових волокон, які мають грубіші капілярні стінки зернових частинок, води в зразку № 4 буде випаровуватися більше, ніж у зразку № 1. При зростанні температури до  $t_3 = 182^\circ\text{C}$  чипси зазнають термоокислювальної деструкції (рис. 5).

У табл. 1 представлено зведені відомості щодо вмісту вологи досліджуваних зразків.

*Таблиця 1. Вміст вологи в готових зразках формованих картопляних чіпсів*

№	1	2	3	4
<i>m</i> , %	8,5	11,0	9,6	10,3

З отриманих відносних втрат маси для досліджуваних зразків (табл. 1) видно, що вміст вологи в досліджуваних зразках різний. Найбільша кількість вологи (11,0%) зафіксована в зразках формованих картопляних чіпсів з висівками жита. Очевидно, це пов'язано з тим, що в житі міститься значна частина водорозчинних харчових волокон, крохмалю та білка, які здатні за певних умов утримувати вологу.

Як уже зазначалось, втрата маси зразками супроводжується появою ендотермічних піків на температурних залежностях ДТА (рис. 2—5). Ендотермічні піки пов'язані з фазовими переходами I роду — випаровуванням. Тобто в досліджуваних зразках формованих картопляних чіпсів при нагріванні відбувається випаровування вологи в температурному діапазоні від 110—160°C. Підвищення температури випаровування (порівняно з температурою кипіння води) можна пов'язати з тим, що більша частина води в досліджуваних зразках знаходиться у зв'язаному стані (в гідратній оболонці) [2; 3].

Якщо припустити, що втрата маси в досліджуваних зразках формованих картопляних чіпсів пов'язана з випаровуванням вологи, яка знаходиться в різних станах, то можна розділити залежність ДТГ на піки за допомогою розподілу Гауса (рис. 6).

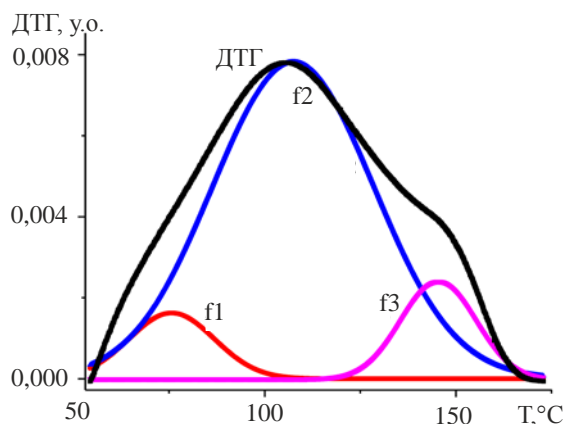


Рис. 6. Апроксимація залежності ДТГ для зразка № 2 (формовані картопляні чипси з висівками жита) за допомогою розподілу Гауса трьома піками

Залежність ДТГ оптимально можна описати трьома піками з максимумами при температурах  $t_1 = 80^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 110^\circ\text{C}$  та  $t_3 = 150^\circ\text{C}$  (рис. 6).

Перший пік ( $f_1$ ) пов'язаний з випаровуванням вологи фізико-механічного зв'язку — капілярної і стикової, яка не видаляється при такому факторі поділу, оскільки знаходиться у грубих макропорах, другий ( $f_2$ ) та третій ( $f_3$ ) піки пов'язані з випаровуванням вологи фізико-хімічного зв'язку — вологи полімолекулярних і мономолекулярних гідратних шарів. Вода в гідратній оболонці пов'язана з біомолекулами водневими зв'язками, які при нагріванні розриваються [3].

У табл. 2, 3 представлений загальний та масово відсотковий розподіл вологи в досліджуваних зразках формованих картопляних чіпсів. Більше зв'язаної вологи в зразках № 2 та № 4, потім у № 1 та № 3. Найбільше вільної вологи у зразку № 4, тому саме він буде втрачати її найбільше при зберіганні.

Таблиця 2. Вміст вільної (1) та зв'язаної вологи (2) в досліджуваних зразках від усїєї вологи

№ зразка	1 %	2 %	m %
№ 1	9	91	8,5
№ 2	9	91	11,0
№ 3	19	81	9,6
№ 4	18	82	10,3

Для розрахунку вмісту вологи від усїєї маси зразка врахуємо дані табл. 1.

Методи розрахунку кінетичних параметрів процесу дегідратації, таких як енергія активації ( $E$ ) та передекспоненційний фактор ( $k_0$ ), описані в [5; 6]. При дослідженні зразків температура змінювалась за лінійним законом. Кінетичне рівняння процесу десорбції записане як:

$$d\Theta/dt = -k\Theta^n; \quad k = (-d\Theta/dt)/\Theta^n. \quad (1)$$

На основі отриманих значень вільної та зв'язаної вологи знаходимо енергію активації для дослідних зразків.

**Таблиця 3. Масово відсотковий вміст вільної (1) та зв'язаної води (2) в досліджуваних зразках від загальної маси зразка**

№ зразка	1 %	2 %
№ 1	0,8	7,7
№ 2	1,0	10,0
№ 3	1,8	7,8
№ 4	1,9	8,4

**Таблиця 4. Енергія активації (E) та предекспоненційний фактор (k<sub>0</sub>) для досліджуваних зразків**

№ зразка	1	2	3	4
k <sub>0</sub>	36	25	38	40
E, $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	129	95	136	137

З отриманих даних табл. 4 видно, що енергія активації, а також предекспоненційний фактор найнижчий у зразку № 2 (формованих картопляних чипсів з висівками жита) порівно з іншими зразками. Тож можна стверджувати, що енергія зв'язку адсорбційно зв'язаної води залежить від початкового хімічного складу та структури сировини. Також розраховано енергію активації, вона найвища у зразку № 4 (формовані картопляні чипси зі жмихом гарбузового насіння). Очевидно, це пов'язано з хімічним складом сировини, а також з ускладненим процесом вивільнення молекул капілярно зв'язаної води.

### **Висновки**

З проведених термогравіметричного та диференціально-термічного досліджень встановлено, що в зразках формованих картопляних чипсів з висівками жита, ячменю та жмиху гарбузового насіння міститься переважна кількість води у зв'язаному стані. Встановлено, що у формованих картопляних чипсах із жмихом гарбузового насіння (зразок № 4) міститься найбільша кількість капілярно зв'язаної води, яка дасть змогу збільшити термін зберігання чипсів, а у формованих картопляних чипсах з висівками жита (зразок № 2) переважає вміст вільної води, тому саме цей зразок втрачатиме найбільшу кількість води в період зберігання.

Отже, проведені дослідження дають чітку можливість спрогнозувати, які зразки формованих картопляних чипсів матимуть найдовший термін зберігання і при цьому втрачатимуть найменшу кількість води. Розраховано значення енергії активації молекул води для всіх зразків, переважна кількість молекул води знаходиться в гідратній оболонці (зв'язаному стані).

### **Література**

1. Сирохман І. В. Завгородня М. В. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2009. 544 с.
2. Influence of Water on the Structure and Dielectric Properties of the Microcrystalline and Nano-Kovalov et al. *Nanoscale Research Letters* (2017) 12:468 DOI 10.1186/s11671-017-2231-5

3. Pichkur V., Lazarenko M., Alekseev O., Kovbasa V., Lazarenko M. (2015). Thermogravimetric research of the extruded and native types of starch. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6 (73)). С. 52—56.

4. Півоваров О. А. Дериватографічні дослідження тіста приготовленого з використанням плазмохімічно активованих водних розчинів. *Харчова наука і технологія*. 2011. № 3 (16). С. 69—72.

5. Остриков А. Н., Чайкин А. Н., Кунецова И. В. Определение форм связи влаги в перце методом дифференциального термического анали за. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2005. № 1. С. 94—95.

6. Дослідження процесу плавлення сирної пасти за допомогою дериватографа Q-1000 / Ф. В. Перцева, П. В. Гурський, А. Л. Фощан, Л. О. Чуйко. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі*: збірник наукових праць ХДУХТ. 2005. Вип. 2. С. 35—41.

## RESEARCH OF OXIDATION STABILITY OF CULTURED BUTTER DURING STORAGE

O. Tsisaryk, L. Musiy, I. Slyvka, O. Hotina

*Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies  
Lviv***Key words:**

*Cultured butter*  
*Acid number*  
*Peroxide number*  
*RSF 742*  
*Lactobacillus acidophilus*  
*La-5*

**Article history:**

Received 20.09.2019  
Received in revised form  
07.10.2019  
Accepted 21.10.2019

**Corresponding author:**

O. Tsisaryk

**E-mail:**

musiyluba@ukr.net

**ABSTRACT**

The purpose of the work was to investigate changes in organoleptic properties and resistance to oxidation processes of cultured butter during storage at  $(4\pm 2)^{\circ}\text{C}$  for 35 days. For the production of cultured butter, starters DVS (Chr. Hansen, Denmark) RSF 742 (*Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*), probiotic culture of *Lactobacillus acidophilus* strain La-5, a bacterial preparation Fresh-Q, which inhibits yeast and mold in fermented dairy products, were used. The initial cell concentration in cream was  $1\cdot 10^6$  CFU/cm<sup>3</sup>. Seven butter samples were made for the spring-summer study: sample 1 — sweet cream butter; 2 — (RSF 742); 3 — (RSF 742+Fresh-Q); 4 — (RSF 742+La-5); 5 — (RSF 742+La-5+Fresh-Q); 6 — (La-5); 7 — (La-5+Fresh-Q). The fermentation temperature of the cream for samples 2—5 was  $(30\pm 1)^{\circ}\text{C}$ , for 6 and 7 —  $(37\pm 1)^{\circ}\text{C}$ . The physical ripening temperature of cream for all samples was  $(5\pm 1)^{\circ}\text{C}$ .

The butter was made by a method of whipping cream with a three-fold repetition. On the 1-st, 10-th, 20-th, 30-th and 35-th day of storage, the organoleptic characteristics of the butter were analyzed. At that time, peroxide and acid numbers were determined in the isolated milk fat (after melting butter at  $+55^{\circ}\text{C}$  and subsequent filtration). To determine the peroxide number under conditions of accelerated kinetic oxidation, the butter samples in the glasses were kept at a temperature of  $+102\pm 2^{\circ}\text{C}$  for three days. The obtained data were processed statistically.

It has been established that sour cream butter made using RSF 742 (*Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*) and the probiotic culture of *Lactobacillus acidophilus* La-5 and the bacterial preparation Fresh-Q was characterized by higher resistance to oxidation processes.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОКСИДАНТНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ КИСЛОВЕРШКОВОГО МАСЛА ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

О. Й. Цісарик, Л. Я. Мусій, І. М. Сливка, О. М. Готіна

Львівський національний університет

ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького

У статті досліджено зміни органолептичних властивостей і стійкість до процесів окиснення кисловершкового масла протягом зберігання за температури  $(4\pm 2)^\circ\text{C}$  впродовж 35 діб. Для виробництва кисловершкового масла використовували заквашувальні культури прямого внесення DVS (фірми Chr. Hansen, Данія): RSF 742 (містить *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*), пробіотичну культуру *Lactobacillus acidophilus* штам La-5, бактеріальний препарат Fresh-Q, який здійснює інгібування дріжджів і плісені у ферментованих молочних продуктах. Вихідна концентрація культур у вершках  $1\cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>. Для дослідження у весняно-літній період року було виготовлено сім зразків масла: зразок 1 — солодковершкове масло; 2 — (RSF 742); 3 — (RSF 742+Fresh-Q); 4 — (RSF 742+La-5); 5 — (RSF 742+La-5+Fresh-Q); 6 — (La-5); 7 — (La-5+Fresh-Q). Температура ферментація вершків для зразків 2—5 становила  $(30\pm 1)^\circ\text{C}$ , для 6 і 7 —  $(37\pm 1)^\circ\text{C}$ . Фізичне визрівання вершків для усіх зразків здійснювали за температури  $(5\pm 1)^\circ\text{C}$ .

Масло виготовляли способом збивання вершків з триразовим повторенням. На 1-у, 10-у, 20-у, 30-у та 35-у доби зберігання аналізували органолептичні показники масла. У вказані терміни у виділеному молочному жирі (після розплавлення масла за температури  $55^\circ\text{C}$  та подальшого фільтрування) визначали пероксидне і кислотне число. Для визначення пероксидного числа в умовах прискорено-кінетичного окиснення зразки масла в склянках поміщали в сушильну шафу за температури  $102\pm 2^\circ\text{C}$  на три доби. Отримані дані обробляли статистично.

Встановлено, що кисловершкове масло, виготовлене при застосуванні RSF 742 (містить *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*) разом з пробіотичною культурою *Lactobacillus acidophilus* La-5 та бактеріальним препаратом Fresh-Q і сквашуванні вершків за температури  $30^\circ\text{C}$  характеризувалося вищою стійкістю до процесів окиснення.

**Ключові слова:** кисловершкове масло, кислотне число, пероксидне число, RSF 742, *Lactobacillus acidophilus* штам La-5, Fresh-Q.

**Постановка проблеми.** Вершкове масло є продуктом з високою концентрацією молочного жиру, який, як відомо, за певних умов може підлягати процесам окиснення [1]. Молочний жир є унікальним за своєю природою завдяки найбільш складній жирнокислотній композиції порівняно з іншими природними жирами, він наділений цінними харчовими і біологічними властивостями і легко засвоюється [2]. Кисловершкове масло — масло, яке виготовляють з пастеризованих вершків, сквашених чистими культурами молочно-

кислих бактерій. Водночас, воно є джерелом цілого комплексу корисних речовин за рахунок великого вмісту біологічно цінного молочного жиру. У кисловершковому маслі завдяки розвитку молочнокислих бактерій створюються несприятливі умови для розвитку сторонньої мікрофлори, яка може стати причиною протікання гнильних процесів і розкладу жиру.

Під час процесу окиснення ліпідів масла утворюються вільні радикали, які проявляють руйнівний вплив на здоров'я людини. Кінцевими продуктами окиснення є низькомолекулярні сполуки розпаду жирних кислот — альдегіди, кетони, окисислоти, які викликають вади смаку і аромату. Стабільність до процесів окиснення — одна із найважливіших характеристик жирових продуктів [3]. У будь-якому біологічному матеріалі закладено природні механізми окисної стабільності, які залежать від співвідношення жирних кислот і наявності природних біоантиоксидантів. Ці механізми продовжують працювати як при технологічній обробці харчової сировини, так і при зберіганні готових жирових продуктів.

На стійкість вершкового масла при зберіганні впливає велика кількість факторів: якість вершків, спосіб виробництва, жирнокислотний склад ліпідів, кислотність плазми масла, вміст і дисперсність води в маслі, розмір масляного зерна, колоїдно-хімічна структура масла, вміст повітря в маслі, температура зберігання, тривалість зберігання, вміст антиоксидантів, зокрема вітамінів А, Е, С [1].

Нині у світовій практиці виробництва жировмісних продуктів для гальмування окиснювальних процесів широко використовуються синтетичні антиоксиданти, що не завжди може бути схвалено з погляду безпеки харчування. Перспективнішим є використання антиокиснювальних властивостей природних сполук (біоантиоксидантів), які не лише не створюють загрози шкідливої дії на організм, але й самі є біологічно цінними речовинами [4].

Головною відмінністю кисловершкового масла від солодковершкового є діяльність заквашувальних культур, що призводить до збільшення вмісту молочної кислоти і діацетилу, а також вітаміну С. Одночасно розвиток молочнокислих мікроорганізмів у маслі сприяє зниженню окисно-відновного потенціалу і затримує процес окиснення [5].

Дослідження процесів окиснення є актуальними, не менш актуальним є й пошук шляхів підвищення стійкості масла під час зберігання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні роки у молочній галузі спостерігається тенденція повернення до виробництва традиційних продуктів харчування. Це зумовлено зростаючим попитом на натуральну продукцію. Особливість кисловершкового масла забезпечується цілісністю та природною довершеністю молочного жиру, який у співвідношенні з іншими нежировими компонентами (плазмою) утворює фізичну субстанцію та неповторні органолептичні властивості [6].

Склад молочного жиру залежно від сезону року — весняно-літнього чи осінньо-зимового, крім впливу на структуру й консистенцію масла, формує його смакові якості і визначає стійкість при зберіганні. Жирнокислотну композицію ліпідів молока складають в середньому 70% насичених, 25% мононенасичених і 5% поліненасичених жирних кислот. У літній період збільшується частка ненасичених жирних кислот, а в зимовий — насичених. Особливих

фізіологічних властивостей масла надають коротколанцюгові жирні кислоти, що входять до складу жиру — масляна, капронова тощо. Вони не піддаються звичайному  $\beta$ -окисненню, а розкладаються на дикарбонові кислоти  $\omega$ -окисненням, тому їх тригліцериди не відкладаються у вигляді жирових запасів у людському організмі [7].

Визначення ступеня окиснення жирових продуктів — важливий чинник, який свідчить не лише про їхню якість, а й про можливість негативного впливу продуктів окиснення на стан здоров'я населення, що вражають серцево-судинну, нервову системи та шлунково-кишковий тракт. Стійкість жирів залежить від ступеня їх ненасиченості та вмісту в них антиоксидантів.

Питання вільнорадикального окиснення ліпідів масла, впливу продуктів окиснення на здоров'я людини та пошуку шляхів запобігання чи гальмування цього процесу висвітлені у [8]. Ці питання набувають особливої гостроти, враховуючи роль ненасичених жирних кислот і необхідність підвищення їх споживання, з одного боку, та можливого їх пероксидного окиснення — з іншого.

Механізм реакції окиснення жирів пояснюється пероксидною теорією Баха-Енглера та теорією ланцюгових реакцій Семенова. Вихідними продуктами окиснення, які накопичуються, є гідропероксиди, які можуть згодом руйнуватися з утворенням сполук з меншою молекулярною масою, таких як спирти, альдегіди, вільні жирні кислоти і кетони, що призводить до автоокисненої прогірклості. Вміст пероксидів, які наявні в харчових жирах, свідчить про стан первинного окиснення. Ненасичені жирні кислоти вступають в реакцію з киснем і пероксидами, запускаючи серію ланцюгових реакцій. Кінцевими сполуками є леткі речовини, що мають характерний запах згірклості. Причому їхня кількість у процесі зберігання жирів, навіть в умовах холоду, значно зростає. Ці реакції прискорюються при високих температурах зберігання та під впливом світла і кисню [9]. Початок і протікання вказаних процесів у жировій фазі масла визначається показником пероксидного числа жиру. Чим нижче значення пероксидного числа, тим краща якість харчових жирів і довший термін зберігання.

Псування жиру може відбуватися як під дією кисню повітря, так під впливом ферментів. Швидкість перебігу ферментативних та хімічних процесів і склад сполук, які утворюються, залежить від хімічного складу жиру, температури зберігання, вмісту вологи тощо. На процес окиснення впливають деякі хімічні речовини, які або прискорюють його (прооксиданти), або уповільнюють (антиоксиданти) [10]. Крім того, швидкість накопичення продуктів окиснення визначається також складом жирних кислот жиру.

Актуальним є дослідження впливу заквашувальних культур безпосереднього внесення при виробництві кисловершкового масла на процес окиснення з метою розроблення функціонального продукту із сталими показниками якості при зберіганні. Для контролю процесів окиснення у маслоробній галузі часто використовуються такі класичні методи, як визначення пероксидного та кислотного чисел жиру.

**Мета дослідження:** дослідження чутливості до окиснення кисловершкового масла, виготовленого із застосуванням мезотермофільної і пробіотич-

ної культури у весняно-літній період року, коли зростає частка ненасичених жирних кислот.

**Матеріали і методи.** Еталоном кисловершкового масла є масло класичного складу, виготовлене способом збивання вершків, які попередньо були піддані біологічному сквашуванню шляхом внесення заквашувальної композиції за певних температурних умов. Таким чином створюються сприятливі умови для формування характерного смакового букету, що поєднує у собі чітко виражені вершковий та кисломолочний смак і аромат.

Для виробництва кисловершкового масла використовували заквашувальні культури прямого внесення DVS (фірми Chr. Hansen, Данія): RSF 742 (містить *Lactococcus lactis ssp. cremoris*, *Lactococcus lactis ssp. lactis*, *Lactococcus lactis ssp. diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*), пробіотичну культуру *Lactobacillus acidophilus* штам La-5 (штам, аналогічний тому, що знаходиться в кишечнику людини), бактеріальний препарат Fresh-Q, який здійснює інгібування дріжджів і плісені у ферментованих молочних продуктах. Для заквашування вершків використовували заквашувальні культури безпосереднього внесення RSF 742 самостійно (вихідна концентрація  $1 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>); поєднання RSF 742 з Fresh-Q (співвідношення культур — 1:1 при вихідній концентрації у вершках  $1 \cdot 10^6$  і  $1 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>); поєднання RSF 742 з La-5 (співвідношення культур — 1:1 при вихідній концентрації у вершках  $1 \cdot 10^6$  і  $1 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>); поєднання RSF 742 з La-5 та Fresh-Q (співвідношення культур — 1:1:1 при вихідній концентрації у вершках  $1 \cdot 10^6$ : $1 \cdot 10^6$ : $1 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>); La-5 самостійно (вихідна концентрація у вершках  $1 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>) та поєднання La-5 з Fresh-Q (співвідношення культур — 1:1 при вихідній концентрації у вершках  $1 \cdot 10^6$  і  $1 \cdot 10^6$  КУО/см<sup>3</sup>).

З урахуванням особливостей розвитку заквашувальних композицій при різних температурах і технології виробництва кисловершкового масла у весняно-літній період року для дослідження було виготовлено сім зразків масла: зразок 1 — солодковершкове масло; зразок 2 — (RSF 742) — ферментація вершків при температурі  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  та фізичне визрівання за температури  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; зразок 3 — (RSF 742+Fresh-Q) — ферментація вершків при температурі  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  та фізичне визрівання за температури  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; зразок 4 — (RSF 742+La-5) — ферментація вершків при температурі  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  та фізичне визрівання за температури  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; зразок 5 — (RSF 742+La-5+Fresh-Q) — ферментація вершків при температурі  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  та фізичне визрівання за температури  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; зразок 6 — (La-5) — ферментація вершків при температурі  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$  та фізичне визрівання за температури  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ ; зразок 7 — (La-5+Fresh-Q) — ферментація вершків при температурі  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$  та фізичне визрівання за температури  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

Масло виготовляли способом збивання вершків з триразовим повторенням. Експериментальні зразки масла пакували в полістиролові скляночки ємністю 200 мл та зберігали в холодильнику за температури  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$  впродовж 35 діб. Дослідження масла здійснювали впродовж 35 діб зберігання, оскільки саме цей термін визначено згідно з нормативними документами для зберігання масла в негерметичному пакуванні за температури від  $0^\circ\text{C}$  до  $5^\circ\text{C}$  [11]. На 1-у, 10-у, 20-у, 30-у та 35-у доби зберігання аналізували органолептичні показники масла — смак, запах, колір, відповідно до шкали: смак і запах —

максимально 10 балів, колір — 2 бали. Наявність окисненого запаху оцінювали в 9 балах: 9 — неокиснений, 5 — окиснений, 1 — екстремально окиснений [12]. У вказані терміни у виділеному молочному жирі (після розплавлення масла за температури 55°C та наступного фільтрування) визначали пероксидне і кислотне число. Для визначення пероксидного числа в умовах прискорено-кінетичного окиснення зразки масла в склянках поміщали в сушильну шафу за температури 102±2°C на три доби, дослідження проводили через 24, 48 та 72 години зберігання. Отримані дані обробляли статистично.

**Викладення основних результатів дослідження.** Аналізуючи зміну органолептичних показників масла протягом зберігання за температури (4±2)°C, варто зазначити, що зміна смаку і запаху у зразках 2 і 3 була зареєстрована після 25-ї доби зберігання, при цьому з'явилися вади — недостатньо чистий аромат і злегка кислий смак, однак окиснений смак відсутній. Поява вказаних вад, на нашу думку, пов'язана із біохімічними процесами, що відбуваються в плазмі масла. Це підтверджено тим, що виділений молочний жир у розплавленому стані зберігав чистий аромат і соломяно-жовтий колір. За результатами бальної оцінки окисненого запаху солодковершкове масло на 35-у добу зберігання отримало 9 балів, таку саму кількість балів отримали зразки кисловершкового масла 2—7.

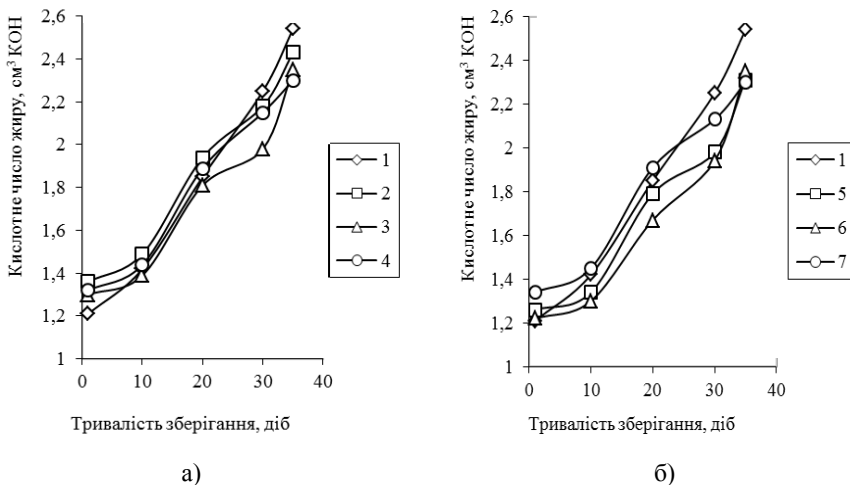
*Таблиця 1. Органолептична оцінка зразків масла при зберіганні його за температури (4±2)°C протягом 35 діб*

Показник	Тривалість зберігання, діб	Зразки масла							
		1	2	3	4	5	6	7	
Смак і запах	0...25	Чистий, добре виражений вершковий з присмаком пастеризації	Чистий, без сторонніх присмаків і запахів, з характерним вираженим приємним кисломолочним смаком і запахом						
	26...35		Недостатньо чистий, з вираженим кислим смаком і запахом		Чистий, без сторонніх присмаків і запахів, з вираженим приємним кисломолочним смаком і запахом				
Консистенція та зовнішній вигляд	0...35	Однорідна, пластична, щільна, поверхня масла на розрізі слабкоблискуча і суха на вигляд	Однорідна, пластична, щільна, поверхня масла, на розрізі слабкоблискуча і суха на вигляд з наявністю поодиноких найменших крапель вологи						
Колір	0...35	Жовтий, однорідний по всій масі	Жовтий, однорідний по всій масі						

Накопичення жирних кислот, що відбувається під час зберігання жирних продуктів, можна проаналізувати за значенням кислотного числа. Кислотне число характеризує процес гідролізу триацилгліцеролів, розпад яких з утворенням вільних жирних кислот може сприяти прискоренню процесу окиснення [3]. Дослідження кислотного числа жиру (КЧЖ) проводили у свіжовиготовлених зразках масла та при їх зберіганні. Отримані результати

представлено на рис. 1—2. У солодковершковому маслі КЧЖ на початку зберігання становило  $1,21 \text{ см}^3 \text{ КОН}$ , витраченого на титрування 1 г жиру. Відповідно до отриманих даних, після 10 діб зберігання у всіх зразках масла починають утворюватися та накопичуватися вільні жирні кислоти, про що свідчить кислотне число жиру. У зразках масла 2—4 накопичення вільних жирних кислот проходило повільніше порівняно із контролем. Згідно з наведеними даними загальна їх кількість протягом усього терміну зберігання за температури  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$  збільшилася на 1,07, 1,05 та  $0,98 \text{ см}^3 \text{ КОН}$  відповідно у зразках 2, 3 і 4 проти  $1,33 \text{ см}^3 \text{ КОН}$  у солодковершковому маслі (рис. 1 а).

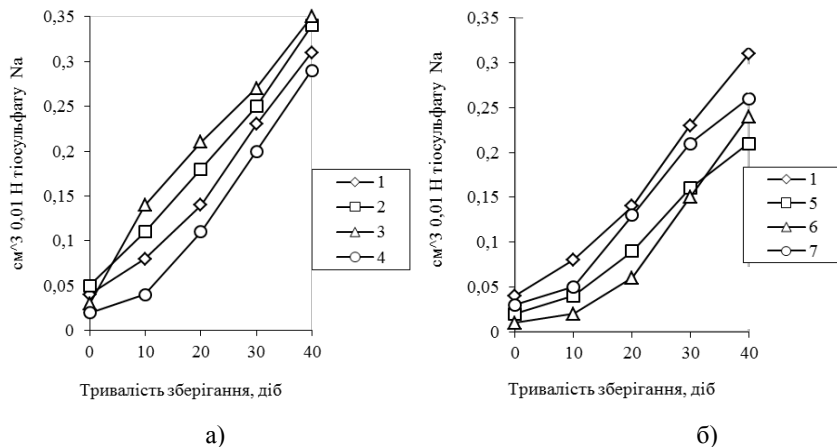
У зразках кисловершкового масла 5—7 через 35 діб зберігання спостерігалось збільшення КЧЖ до 2,31, 2,35 та  $2,30 \text{ см}^3 \text{ КОН}$  відповідно для зразків 5, 6 та 7 (рис. 1 б). Нижчі показники КЧЖ у зразках масла 5—7 свідчать про зменшення накопичення вільних жирних кислот у цих зразках, що може бути зумовленим використанням бактеріального препарату Fresh-Q та пробіотичної культури *L. acidophilus La-5*.



**Рис. 1.** Зміна кислотного числа молочного жиру при зберіганні кисловершкового масла за температури  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$  порівняно із солодковершковим: а — зразки 2—4; б — зразки 5—7

У результаті процесу окиснення змінюються не лише органолептичні властивості молочного жиру, але й знижується його харчова, у тому числі біологічна цінність. Це пов'язано з окисненням життєво необхідних ненасичених жирних кислот, а також з руйнуванням каротиноїдів, токоферолів та інших біологічно активних речовин [1]. Крім того, первинні продукти окиснення (пероксиди) можуть справляти токсичну дію на організм людини. Вміст пероксидних сполук у зразках масла оцінюють за значенням пероксидного числа. Дослідження пероксидного числа проводили у свіжовиготовлених зразках масла та при їх зберіганні. Отримані результати, представлені на рис. 2, свідчать, що у свіжовиготовлених зразках масла показники пероксидного числа жиру практично однакові, але при зберіганні накопичення продуктів окиснення у контролі проходить швидше, ніж у зразках кисловершкового масла. Збільшення кількості пероксидів спостерігається

вже на 10 добу зберігання. Солодковершкове масло в умовах зберігання за температури  $(4\pm 2)^\circ\text{C}$  у середньому за весь період характеризувалось дещо вищим пероксидним числом порівняно із зразками кисловершкового масла, після 35 діб зберігання його значення становило  $0,31 \text{ см}^3 0,01 \text{ н тіосульфату Na}$ , витраченого на титрування 1 г жиру.



**Рис. 2.** Зміна пероксидного числа молочного жиру при зберіганні кисловершкового масла за температури  $(4\pm 2)^\circ\text{C}$  порівняно із солодковершковим: а — зразки 2—4; б — зразки 5—7

Найвищою стійкістю до процесів окиснення характеризувалися зразки кисловершкового масла 4—7, де для сквашування вершків застосовували пробіотичну культуру *L. acidophilus* La-5. У цілому, під час зберігання за температури  $(4\pm 2)^\circ\text{C}$  пероксидне число зросло у зразку солодковершкового масла на 0,27, тоді як у зразках 4—7 лише на 0,20...0,25  $\text{см}^3 0,01 \text{ н тіосульфату Na}$ , що свідчить про вищу стійкість при зберіганні. Зразок 5, для сквашування вершків якого використовували RSF 742 у поєднанні з пробіотичною культурою *L. acidophilus* La-5 та Fresh-Q, на початку і протягом 35 діб зберігання характеризувався найкращими органолептичними показниками і найвищою стійкістю до окиснення, на що вказують результати, наведені на рис. 2б. Значення пероксидного числа в кінці зберігання для нього становило  $0,21 \text{ см}^3 0,01 \text{ н тіосульфату Na}$ , витраченого на титрування 1 г жиру. Дещо гірші показники проявляли зразки масла 2 і 3, у яких ферментація вершків відбувалася за використання заквашувальної культури прямого внесення RSF 742 самостійно та у поєднанні з Fresh-Q (рис. 2а). Найбільш наближеними значеннями пероксидного числа до його значення у солодковершковому маслі (0,31) були зразки 2 і 3 ( $0,29$ — $0,30 \text{ см}^3 0,01 \text{ н тіосульфату Na}$ ) на 35-у добу зберігання.

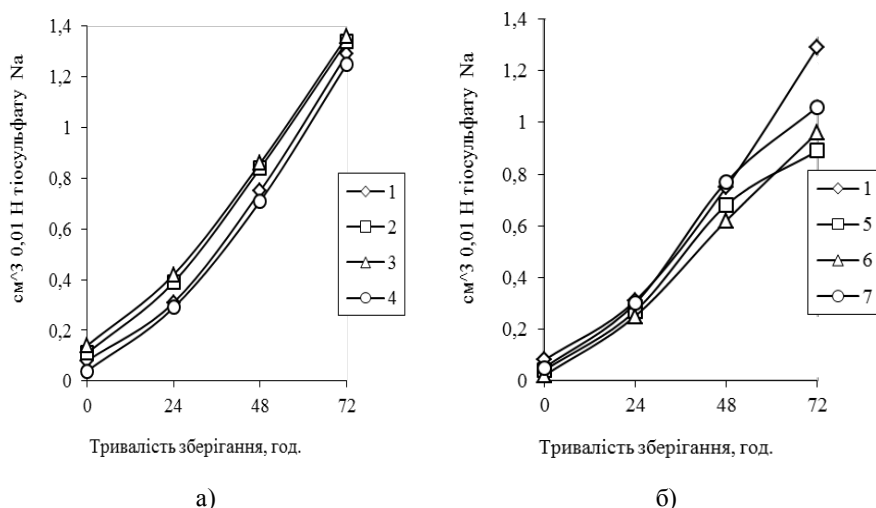
В умовах прискореного кінетичного окиснення спостерігалися більш виражені зміни (рис. 3). Найвищою стійкістю до окиснення проявляв зразок масла 5 (рис. 3б), пероксидне число якого після 72 год зберігання за температури  $102\pm 2^\circ\text{C}$  становило, відповідно, 0,89 проти 1,29 мл 0,01 н тіосульфату Na для зразка солодковершкового масла. Дещо гірші показники зареєстровано

для зразків 2 і 3. Так, за 24 год зберігання воно зросло у контролі втричі, за 48 годин — у 5,7 раза та за 72 год — у 14 разів, у зразку 2— відповідно у 3,5; 7,6 та 12,2 раза та у зразку 3 — відповідно, у 3; 6,1 та 9,7 раза.

Використання у технології кислоторшккового масла пробіотичної культури *L. acidophilus* La-5 та бактеріального препарату Fresh-Q дає можливість отримати продукт із сталими показниками якості під час усього терміну зберігання. Кислоторшккове масло, виготовлене при застосуванні RSF 742+La-5+Fresh-Q та сквашуванні вершків за температури  $(30\pm 1)^\circ\text{C}$ , характеризувалося вищою стійкістю до процесів окиснення.

Що стосується змін органолептичних показників масла в умовах прискореного кінетичного окиснення, то слід відзначити, що втрата чистого кислоторшккового аромату та жовтого кольору спостерігається після 48 год зберігання, причому вона не є синхронною для всіх зразків масла, зокрема зразки 4 і 5 зберігають світло-жовтий колір і до 72 год зберігання.

З огляду на зміни пероксидного і кислотного числа, щодо першого зареєстровано більш істотні міжгрупові відмінності відносно контролю. Це може свідчити про те, що ліполітичні процеси у всіх зразках масла відбуваються приблизно синхронно, тоді як перебіг ПОЛ інтенсивніший у солодковершковому маслі та зразках кислоторшккового масла із застосуванням RSF 742.



**Рис. 3.** Зміна пероксидного числа молочного жиру в умовах прискорено-кінетичного окиснення порівняно із солодковершковим: а — зразки 2—4; б — зразки 5—7

Істотніше гальмування процесу окиснення у кислоторшкковому маслі за поєднання культур, очевидно, пов'язане з синергічною взаємодією мікрофлори і, як результат, вищим вмістом антиоксидантів, зокрема, вітаміну С.

### **Висновки**

Ліполітичні процеси під час зберігання масла у всіх зразках відбувалися приблизно синхронно, за винятком зразків, для сквашування вершків яких використовували пробіотичну культуру *Lactobacillus acidophilus* штам La-5 та

бактеріальний препарат Fresh-Q. Значення кислотного числа для цих зразків масла було найнижчим.

Солодковершкове масло в умовах зберігання за температури  $(4\pm 2)^\circ\text{C}$  у середньому за весь період характеризувалось дещо вищим пероксидним числом порівняно зі зразками кисловершкового масла, після 35 діб зберігання воно становило  $0,31\text{ см}^3/0,01\text{ н тіосульфату Na}$ , витраченого на титрування. Зразок кисловершкового масла, для сквашування вершків якого використовували RSF 742, пробіотичну культуру *L. acidophilus* La-5 та Fresh-Q, на початку і протягом 35 діб зберігання характеризувався найкращими органолептичними показниками і найвищою стійкістю до окиснення, на що вказує значення пероксидного числа в кінці зберігання —  $0,21\text{ см}^3/0,01\text{ н тіосульфату Na}$ , витраченого на титрування 1 г жиру. В умовах прискорено-кінетичного окиснення спостерігалися подібну тенденцію.

Отже, можна стверджувати, що кисловершкове масло, виготовлене при застосуванні RSF 742 (містить *Lactococcus lactis ssp. cremoris*, *Lactococcus lactis ssp. lactis*, *Lactococcus lactis ssp. diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*), пробіотичної культури *Lactobacillus acidophilus* штам La-5 та бактеріального препарату Fresh-Q і сквашуванні вершків за температури  $30^\circ\text{C}$  характеризувалося вищою стійкістю до процесів окиснення.

### Література

1. Birghila S., Dobrinas S. The influence of the storage time on the stability of butter. *Environmental Engineering and Management Journal*. November 2010. Vol. 9, No. 11. P. 1579—1582.
2. Bobe G., Hammond E. G., Freeman A. E., Lindberg G. L., Beitz D. C. Texture of butter from cows with different milk fatty acid composition. *J. Dairy Sci*, 2003. Vol. 86. P. 3122—3127.
3. Смоляр В. І. Сучасні проблеми якості харчових жирів. *Проблеми харчування*, 2008. № 3—4. С. 5—12.
4. Загоруй Л. П. Ветеринарно-санітарна оцінка вершкового масла з антиоксидантами рослинного походження. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата ветеринарних наук. Львів, 2008. 23 с.
5. Gonzalez S., Duncan S. E., O'Keefe S. F., Summer S. S., Herbein J. F. Oxidation and textural characteristics of butter and ice-cream with modified fatty acid profiles. *J. Dairy Sci*, 2003. Vol. 86. P. 70—77.
6. Боднарчук О. В., Майборода Ю. В., Єресько Г. О., Кігель Н. Ф. Деякі технологічні аспекти виробництва кисловершкового масла. *Продовольчі ресурси. Серія : Технічні науки*, 2014. № 3. С. 68—72.
7. Chen S., Bobe G., Zimmerman S., Hammond E. G., Luhman C. M., Boylstone T. D., Freeman A. E., Beitz D. C. Physical and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acid compositions. *J. Agric. Food Chem.*, 2004. Vol. 52. P. 3422—3428.
8. Brainina Kh. Z., Gerasimova E. L., Kasaimna O. T., Ivanova A. V. Antioxidant activity evaluation assay based on peroxide radicals generation and Potentiometric measurement. *Analytical Letters*, 2011. Vol. 44. Issue 8. P. 1405—1415.
9. Цісарик О. Й., Мусій Л. Я., Шерешкова О. Стійкість до процесів окиснення вершкового масла з горіхово-медовим наповнювачем. *Науковий вісник ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гіщського*, 2016. Т. 18. Ч. 4. № 1(65). С. 148—155.
10. Могиланська Н. О. Дослідження впливу антиоксидантів на гальмування окислювальних процесів в спредах. *Вісник НТУ «ХПІ»*, 2014. № 17(1060). С. 123—129.
11. ДСТУ 4399:2005. Масло вершкове. Технічні умови [Текст]. Опубл. 28.04.2005. — 12 с.
12. Stegeman G. A., Baer R. G., Schingoethe D. J., Casper D. P. Composition and flavor of milk and butter from cows fed unsaturated dietary fat and receiving bovine somatotropin. *J. Dairy Sci*, 1992. Vol. 75. P. 962—970.

## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

### Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць.

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

### ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

### ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має містити коротку інформацію про мету, об'єкт та методику досліджень, основні результати й рекомендації щодо їх застосування.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
  - постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
  - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
  - формулювання мети статті;
  - викладення основних результатів дослідження;
  - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному або порядку цитування в тексті наводиться список літературних джерел (не менше п'яти джерел, не більше дванадцяти). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ 8302:2015. У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмі-редакторі Corel Draw X6.

**Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом. Знімок екрана (скріншот) виконується на світлому фоні.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються у разі крайньої потреби. Авторам краще завантажити фотографії на хмарний сервіс і у списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

**Використання** автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

**Відсутність** будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

**Автор несе відповідальність** за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

#### **Адреса редакції:**

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net