

Присвячено 40-річчю Проблемної науково-дослідної лабораторії  
Національного університету харчових технологій



---

---

2017

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 23 № 5

Частина 1

*Журнал  
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»  
засновано в 1993 році*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2017

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 (Decree of MES of Ukraine # 241 from September 3, 2016), 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
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- 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 # 5 of September, 2017

© NUFT, 2017

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 (Наказ МОН України № 241 від 09.03.2016), 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
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- 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 № 5 від 5 вересня 2017 року

© НУХТ, 2017

## 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:

**Анатолій Зайнчковський**

**Anatoly Zainchkovskiy**

д-р екон. наук, проф., Україна

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

**Анатолій Король**

**Anatoly Korol**

д-р фіз.-мат. 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

**Анатолій Сайганов**

**Anatoly Sayganov**

д-р екон. наук, проф., Білорусь

Ph. D. Hab., Prof., Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, Belarus

**Анжей Ковальський**

**Anzhey Kowalski**

д-р екон. наук, проф., Польща

Ph. D. Hab., Prof., Institute of Agricultural and Food Economics, Poland

**Анетта Зелінська**

**Anetta Zielinska**

д-р екон. наук, проф., Польща

Ph. D. Hab., Prof., Wroclaw University of Economics, Poland

**Брайан Мак Кенна**

**Brian McKenna**

д-р техн. наук, проф., Ірландія

Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

**Віктор Доценко**

**Victor Dotsenko**

д-р техн. наук, проф., Україна

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

**Віра Оболкіна**

**Vera Obolkina**

д-р техн. наук, Україна

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

**Віктор Ємцев**

**Viktor Yemtsev**

д-р екон. наук, проф., Україна

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

**Володимир Зав'ялов**

**Vladimir Zavialov**

д-р техн. наук, Україна

Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

<b>Галина Чередниченко</b> <b>Galina Cherednichenko</b>	канд. педагог. наук, доц., Україна Ph. D. As., 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>Єлизавета Костенко</b> <b>Jelyzaveta Kostenko</b>	д-р хім. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Єлизавета Смірнова</b> <b>Jelyzaveta Smirnova</b>	канд. філол. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Іван Малезжик</b> <b>Ivan Malezhuk</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<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>Лариса Арсенєвса</b> <b>Larisa Arsenyeva</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Леонід Дегтярєв</b> <b>Leonid Dehtiarov</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Микола Прядко</b> <b>Mykola Pryadko</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Михайло Мартиненко</b> <b>Michail Martynenko</b>	д-р фіз.-мат. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Наталія Гусятинська</b> <b>Natalia Gusyatyńska</b>	д-р техн. наук, проф., 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 Перепелиця</b> <b>Oleksandr Perepelitsa</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Олег Полумбрик</b> <b>Oleh Polumbryk</b>	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., 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>Петро Шиян</b> <b>Petro Shyian</b>	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
<b>Саверіо Манніно</b> <b>Saverio Mannino</b>	д-р хім. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Milan, Italy
<b>Хууб Лелієвельд</b> <b>Huub Lelieveld</b>	Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

## ЗМІСТ

### Біотехнологія і мікробіологія

*Пирог Т., Гаврилкіна Д., Леонова Н., Шевчук Т.* Вплив умов культивування продуцентів поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 і *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 на синтез фітогормонів

*Швець В.В., Карпенко О.В., Новіков В.П., Лубенець В.І.* Вплив композицій поверхнево-активного рамноліпідного біокомплексу і тіосульфатів на ростові показники пшениці озимої у модельних умовах посухи

*Асаулюк Т.С., Семешко О.Я., Сарібєкова Ю.Г.* Створення екологічно чистих полімерних покриттів для текстильних пакувальних матеріалів

*Черно Н.К., Гураль Л.С., Антіпіна О.О.* Отримання арабіногалактану з вітчизняної сировини та його характеристика

*Данилюк А.Г., Ліщук В.І.* Розробка маловідходних енергоощадних біотехнологій виробництва еластичних шкіряних матеріалів

### Процеси і апарати харчових виробництв

*Потапов В.О., Якушенко Є.М.* Теорія і техніка сушіння термолabileної сировини в установках змішаного енергопідводу

*Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Костюк В.С.* Генерування енергетичних імпульсів у середовищах бродильних апаратів

*Деркач А.В., Лісовська Т.О., Стадник І.Я.* Обґрунтування оптимальних параметрів валків для розкачування тіста

*Бабанов І.Г., Потапов В.О., Прасол С.В., Шевченко А.О.* Модель кінетики тепломасопереносу в процесі НВЧ-обробки харчової сировини

*Мисюра Т.Г., Зав'ялов В.Л., Лобок О.П., Попова Н.В., Запорожець Ю.В.* Математичний опис структури гідродинамічних потоків при віброекстрагуванні на основі комірчастої моделі

*Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В.* Багатокритеріальний структурно-параметричний синтез функціональних модулів потоково-технологічних пакувальних систем

### Харчові технології

*Юкало В.Г., Сторож Л.А.* Отримання біоактивних казеїнових фосфопептидів з використанням різних розчинників

*Євлаш В.В., Кузнецова Т.О., Артамонова М.В., Фоцан А.Л., Отрошко Н.О., Пілюгіна І.С., Железняк З.В., Вовчинський І.С., Калугін О.М.* Розробка науково обґрунто-

## CONTENTS

### Biotechnology and Microbiology

15 *Pirog T., Gavrylkina D., Leonova N., Shevchuk T.* Influence of cultivation conditions of surfactant producers *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 and *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on synthesis of phytohormones

23 *Shvets V., Karpenko O., Novikov V., Lubenets V.* Effect of compositions of surface-active rhamnolipid biocomplex and thiosulfonates on winter wheat growth in model conditions of drought

28 *Asauluk T., Semeshko O., Saribyekova Yu.* Creating environmentally friendly polymer coatings for textile packaging materials

36 *Cherno N., Gural L., Antipina O.* Obtaining arabinogalactan from the domestic-produced raw material and its characteristics

46 *Danylkovych A., Lishchuk V.* Development of low waste biotechnologies of elastic leather materials production

### Processes and Equipment for Food Industries

55 *Potapov V., Yakushenko E.* Theory and technology of drying thermolabile raw materials in mixed energy installations

65 *Shevchenko O., Sokolenko A., Kostyuk V.* Generation of energy pulses in the environments of fermentation equipment

72 *Derkach A., Lisovska T., Stadnyk I.* Design of optimal roll parameters for rolling the dough

80 *Babanov I., Potapov V., Prasol S., Shevchenko A.* Model of heat exchange kinetics during the microwave processing of food raw materials

87 *Misyura T., Zavalov V., Lobok O., Popova N., Zaporozhets Y.* Flows at viadrostraguvanni based on combined model

98 *Gavva O., Kryvoplyas-Volodina L., Derenivska A.* Multicriterial structural and parametric synthesis of flow packing systems' functional modules

### Food Technology

109 *Yukalo V., Storozh L.* Obtaining bioactive casein phosphopeptides using different solvents

115 *Evlash V., Kuznetsova T., Artamonova M., Foshan A., Otroshko N., Piliugina I., Zheleznyak Z., Vovchinsky I., Kalugin O.* Development of scientifically grounded technologies

ваних технологій продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження

*Захаров В.В., Змієвський Ю.Г., Білецька І.М., Мирончук В.Г.* Озонування рідин молочної промисловості

*Черевко О.І., Дубініна А.А., Михайлов В.М., Щербаківа Т.В., Ленерт С.О.* Визначення впливу внутрішніх і зовнішніх чинників на формування кольору фруктів за допомогою кольорових характеристик

*Головка М.П., Головка Т.М., Геліх А.О.* Дослідження структурних і біохімічних змін при заморожуванні та зберіганні напівфабрикату з молосків прісноводних

*Пасічний В.М., Полумбрык М.О., Полумбрык М.М., Литвяк В.В., Вишневський О.* Дослідження морфології поверхні і текстури фаршу варених ковбас

*Василенко З.В., Никулин В.И., Лазовикова Л.В.* Влияние параметров гидролиза протопектина гранулированных выжимок яблок на выход и показатели качества получаемого пектина

*Сухенко В.Ю., Сухенко Ю.Г., Муштрук М.М., Васильев В.П., Бойко Ю.И.* Качество фаршей колбасных изделий и его изменение в процессе измельчения

*Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А.* Нові підходи до мікроелементного збагачення сухих концентратів із молочної сироватки

*Українець А.І., Большак Ю.В., Маринін А.І.* Застосування безреагентно модифікованої води для підвищення ефективності харчового виробництва і поліпшення якості продукції

*Прытульська Н.В., Мотузка Ю.М., Гуліч М.П., Асланян С.А., Антиушко Д.П.* Науково-практичні підходи до розробки продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах бойових дій та на етапах медичної евакуації

*Сгоров Б.В., Жигунов Д.О., Мардар М.Р., Значек Р.Р., Жигунова Г.Д.* Технологічні властивості зерна полби та спельти і перспективи їх використання для виробництва харчових продуктів

*Іоргачова К.Г., Макарова О.В., Хвостенко К.В., Котузакі О.М.* Підвищення та стабілізація якості борошняних кондитерських виробів завдяки використанню різних видів борошна

*Носенко Т.Т., Черствя А.О., Королюк Т.А.* Вплив попередньої ферментативної обробки ріпакової м'ятки на активність ліпази та показники якості олії

of food products of increased nutritional value using structure formers of different origin

124 *Zakharov V., Zmievskii Yu., Biletska I., Myronchuk V.* Ozonation of milk industry fluids

131 *Cherevko O., Dubinina A., Mykhailov V., Shcherbakova T., Lenert S.* Determining the effect of internal and external factors on the formation of color of fruits by means of color parameters

139 *Golovko N., Golovko T., Gelikh A.* Investigating structural and biochemical changes while freezing and storage of freshwater mussel semi-products

146 *Pasichnyi V., Polumbryk M., Polumbryk M., Litvyak V., Vyshnevskiy O.* Research of surface morphology and textures of minced meat in boiled sausages

153 *Vasilenko Z., Nikulin V., Lazovikova L.* Influence of the hydrolysis parameters of protopectine of granulated apple pomace on the output and indexes of quality of the received pectin

161 *Sukhenko Y., Sukhenko V., Mushtruk M., Vasuliv V., Boyko Y.* Quality of minced meat products and its change in the process of grinding

176 *Kochubei-Lytvynenko O., Chernyushok O.* New approaches for microelement enrichment of dry milk whey concentrates

186 *Ukrainets A., Bolshak Yu., Marynin A.* Use of non-reagent modified water for increase of food industry efficiency and improvement of food products quality

200 *Prytulska N., Motuzka I., Gulich M., Aslanyan S., Antiushko D.* Scientific and practical approaches to development of products for nutritional support for wounded, injured and patients in extremely conditions of warfare and at the stages of medical evacuation

209 *Igorov B., Zhygunov D., Mardar M., Znachek R., Zhyhunova G.* Technological properties of emmer and spelta grain and perspectives of their using for food production

217 *Iorgachova K., Makarova O., Khvostenko K., Kotuzaki O.* Improving and stabilizing the pastry quality due to the usage of various types of flour

229 *Nosenko T., Cherstva A., Korolyuk T.* Effect of previous enzymatic treatment of rapeseed meal on the lipase activity and oil quality

- Верхівкер Я.Г., Мирошніченко О.М., Альтман Е.І.* 236 *Verkhivker Ya., Miroshnichenko E., Altman E.*  
Методологія розробки сучасної  
нормативно-технологічної документації для  
виробництва харчової продукції з ура-  
хуванням вимог міжнародних стандартів  
242 *Yushchenko N., Grabova T., Kuzmyk U., Pa-  
sichnyi V.* Determination of technological pa-  
rameters for producing sumac extract for fur-  
ther use in dairy pastes technology
- Ющенко Н.М., Грабова Т.Л., Кузьмик У.Г.,  
Пасічний В.М.* Визначення технологічних  
параметрів отримання екстракту сумаху  
для подальшого використання у технології  
кисломолочних паст

---

## Історичний нарис розвитку Проблемної науково-дослідної лабораторії НУХТ

Проблемна науково-дослідна лабораторія Національного університету харчових технологій відзначає 40-річчя. Сорок років — це багато чи мало? Для людини — багато, а для наукового підрозділу — один лише день. Та скільки яскравих, пам'ятних, величних подій вмістив у собі цей день...

А все почалося із зацікавленості. Із наукового неспокою десятків співробітників тодішнього Київського технологічного інституту харчової промисловості, коли наказом Міністерства освіти України у КТХІП було створено Проблемну науково-дослідну лабораторію.

Дата створення лабораторії — 7 квітня 1977 року. Це збіг обставин чи чийсь Вищий задум? Адже 7 квітня — день Благовіщення Пресвятої Богородиці — одне із 12 головних свят у православному календарі.

Благовіщення означає «блага» або «добра» вість. Цього дня Діві Марії явився Архангел Гавриїл і сповістив про майбутнє народження Ісуса Христа — Сина Божого і Спасителя світу. У цей день за давнім християнським звичаєм у храмі після Літургії випускають на волю птахів.

І ось такою пташкою прилетіла звістка про створення лабораторії і відразу внесла істотні зміни у наукове життя інституту.

І сьогодні, озираючи пройдені 40 років, можна без перебільшення сказати — в історії Проблемної лабораторії яскраво відобразилась історія розвитку харчової, переробної промисловості та біотехнології за останні десятиліття, історія розроблення та впровадження всіх тих інновацій, які визначають науково-технічний прогрес в Україні, окреслюючи її місце у світовій спільноті.

А ось перелік досліджень, із яких починалось становлення Проблемної науково-дослідної лабораторії і які ввійшли до першого тематичного плану ПНДЛ:

- «Розроблення технологій інуліновмісних харчових продуктів профілактично-лікувального призначення, біотехнологій мікробного синтезу на основі топінамбура та іншої інуліновмісної сировини» — наукові керівники проф. Гулий І.С. та проф. Бобрівник Л.Д.;

- «Технології виробництва фруктози, високофруктозного та глюкозно-фруктозного сиропів з напівпродуктів цукрового виробництва» — науковий керівник проф. Архипович М.О.;

- «Наукове обґрунтування інтенсифікації технологічних процесів очищення цукрових розчинів, їх оптимізація та розроблення ефективних варіантів апаратурного оформлення» — науковий керівник проф. Рева Л.П.;

- «Розроблення технології та апаратурне для виробництва технічного спирту з відходів переробної промисловості та вуглеводовмісної сировини» — наукові керівники проф. Гулий І.С., проф. Домарецький В.П., проф. Шиян П.Л.;

- «Розроблення теорії вискоефективного процесу сушіння і термічного оброблення солоду та зернових культур» — науковий керівник проф. Домарецький В.П.

Усі ці теми було виконано на високому рівні, з необхідним промисловим впровадженням, істотним реальним економічним ефектом, десятками захищених кандидатських і докторських дисертацій.



---

І це не дивно. Варто процитувати відомий вислів Ісаака Ньютона: «Якщо я бачив далі за всіх, то це тому, що я стояв на плечах гігантів». Інтерпретуючи цю фразу, можна сказати, що кожен із нас, співробітників Проблемної лабораторії, постійно відчував надійні плечі наших гігантів, їхню підтримку, незламність у найскрутніших ситуаціях.

Їхні імена назавжди вписано в історію Проблемної науково-дослідної лабораторії, в історію життя більшості із нас, адже з часом ці поняття стали нерозривними.

Ось ці гіганти вітчизняної науки, ці особистості, які стояли біля витоків створення, формування і розвитку лабораторії:

- перший науковий керівник лабораторії, заслужений працівник вищої школи України, лауреат Державної премії УРСР, доктор технічних наук, професор Всеволод Миколайович Стабніков;

- незмінний науковий керівник лабораторії протягом 20 років, академік Української академії аграрних наук, лауреат Державної премії України, заслужений працівник вищої школи України, доктор технічних наук, професор Іван Степанович Гулий.

Як завжди, наукову роботу в навчальному закладі координує проректор за відповідним напрямом. На час створення ПНДЛ це був доцент Володимир Тимофійович Гаряжа. Саме він став ініціатором такого «сонячного» дизайну приміщення лабораторії, і, зі слів самого Володимира Тимофійовича, «...це було бажання, зайшовши в лабораторію, одразу побачити крізь скляні двері і стіни, як хто працює». Мудрий, добрий гумор, сповнений поваги до людей...

Уже в перше десятиліття існування ПНДЛ вітчизняна наука збагатилась новими знаннями з хімії інуліну, зокрема синтезу його біологічно активних похідних (проф. Бобрівник Л.Д.); теорії і практики кристалізації цукру (проф. Гулий І.С., доц. Гаряжа В.Т.); хімічної кінетики, технологічних, процесних і апаратурних аспектів очищення дифузійних соків (проф. Рева Л.П.); технології отримання фруктози, фруктозо-глюкозних сиропів з напівпродуктів бурякоцукрового виробництва (проф. Архипович М.О.).

Тематика наукових досліджень постійно розширювалась, і доробок ПНДЛ поповнювався новими теоретичними та практичними результатами. Це були такі розробки:

- нові електричні та магнітно-імпульсні технології в харчовій промисловості (проф. Гулий І.С., проф. Українець А.І.);

- обладнання і мембранні технології концентрування та розділення харчових продуктів (проф. Гуцалюк В.М.);

- електротехнологія пектину та пектинопродуктів (проф. Купчик М.П.);

- технології нових алкогольних і безалкогольних напоїв лікувально-профілактичного призначення (проф. Домарецький В.П.);

- нові здобутки в теорії та практиці ректифікації спирту (проф. Шиян П.Л.) та багато інших.

Інтенсивний поштовх для виходу лабораторії на новий виток розвитку відбувся в 1989 році, коли Міністерство освіти України здійснило реорганізацію способу фінансування держбюджетних робіт: усі навчальні заклади

---

України (за відповідними напрямками підготовки студентів) були об'єднані в єдину систему Державного замовлення наукових досліджень (ДЗН), весь обсяг фінансування перераховувався на один навчальний заклад, який було визнано головним, і вже за рішенням проблемної лабораторії цього закладу розподілялось фінансування аналогічних структур інших ВНЗ, які входили до даної групи.

По групі технічних вузів головним було визначено КТІХП і, відповідно, все фінансування наукових робіт проблемних лабораторій цих ВНЗ було переведено на нашу Проблемну науково-дослідну лабораторію.

Зі всієї України до нас почали йти запити на включення робіт до загального тематичного плану ДЗН. Члени наукової ради ПНДЛ стали водночас і рецензентами, і експертами, і саме вони визначали, проект якого навчального закладу доцільно фінансувати. Рішення наукової ради ПНДЛ було остаточним, його ніхто не міг спростувати та оскаржити. І ось таким єдиним фронтом, у складі одного тематичного плану, виконували наукові дослідження наші споріднені інститути — Києва, Харкова, Львова, Одеси, Тернополя, Дніпропетровська та інших. Заохочувалось виконання певної тематики декількома організаціями, і це сприяло загальному підвищенню рівня отриманих наукових результатів, адже кожен ВНЗ мав свої певні переваги, і їх поєднання приносило загальну користь.

Наукові дослідження, що виконуються у ПНДЛ, завжди відзначаються актуальністю. Так, досвід зарубіжних країн свідчить про те, що однією з основних умов успішного вирішення продовольчого питання є створення високорозвиненої промисловості, що забезпечує комплексну переробку сільськогосподарської сировини. В цих країнах настала епоха продовольчої цивілізації, що характеризується високим рівнем стандартизації та уніфікації споживання харчових продуктів, розвитку холодильної промисловості, впровадження нових методів переробки, розфасовки, пакування, збереження та збуту продуктів, збільшення їх асортименту з 3—4 до 10—12 тисяч, а число методів обробки вихідної сировини — з 1—2 до 4—5; підвищення частки переробних галузей в структурі добавленої вартості продовольчого комплексу до 35—40%.

Тому перспективними напрямками, здатними вплинути на вирішення багатьох наукових, соціальних і господарських проблем, у структурі тематичних планів ПНДЛ стали: розробка високоефективних технологій переробки рослинної сировини (в тому числі вторинної) на харчові продукти на основі хімічної модифікації та біотрансформації; одержання з сільськогосподарської сировини і відходів її переробки білка, харчових волокон, пектиновмісних продуктів, харчових барвників, заміників цільного молока, ароматизаторів, антиоксидантів, дієтичних добавок тощо на основі хімічних, мікробіологічних, біотехнологічних процесів; розробка та освоєння науково обґрунтованих технологій продуктів лікувального, дієтичного та дитячого харчування із задалегідь визначеними поліфункціональними властивостями та фізіологічними ефектами.

Великого значення у вирішенні проблем переробки і збереження сільськогосподарської продукції науковці ПНДЛ надають удосконаленню асортименту

---

менту і підвищенню якості продукції переробних підприємств, нарощуванню виробництва продуктів з покращеними смаковими характеристиками, збагачених вітамінами, білковими та фруктово-ягідними добавками; швидкозаморожених і сушених плодів та овочів, напівфабрикатів для закладів ресторанного господарства та роздрібною торгівлі. У розробках практичного характеру важливе значення надається впровадженню інноваційних розробок на діючих підприємствах, пом'якшенню сезонності заготівель і переробки сільськогосподарської сировини, в тому числі за рахунок впровадження вдосконалених технологій зберігання, транспортування сировини та готової продукції.

Слід згадати про ще одну варту уваги проблему. В нашій державі, з одного боку, великий дефіцит плодоовочевої продукції, а з другого — значні її втрати на шляху від поля до споживача. Так, якщо у США до роздрібного покупця потрапляє 87,5% картоплі, яку фермер приготував на продаж, то в нас — усього 40—41%. Тільки в післязбиральний період втрати плодоовочевої продукції складають майже 43% загального обсягу виробництва. Ми втрачаємо приблизно половину овочів та фруктів. Отож справа не тільки в тому, щоб збільшити їх виробництво, а й у тому, щоб доставити отриману продукцію до споживача.

Пом'якшити, а потім і зняти гостроту проблеми продовольчого постачання у країні, та ще й у короткий термін, можливо лише мобілізацією усіх ресурсів, насамперед — істотного скорочення втрат сільськогосподарської продукції в процесі її виробництва, зберігання, переробки, транспортування та реалізації. Тільки за рахунок цього додаток у ресурс споживання може становити 20, а з деяких видів продукції — 30%.

Таким чином, доцільність часткової переробки сільськогосподарської сировини безпосередньо на місці її виробництва безумовна. Науковці Проблемної лабораторії опанували відповідний для реалізації цієї мети метод — кріотехнологію, над якою працювали з 1989 року. За сукупністю робіт із цього напрямку виконавці отримали Державну премію України в галузі науки і техніки за 2006 рік.

Науковці ПНДЛ відреагували також на різке погіршення екологічного становища в Україні, викликане наслідками аварії на Чорнобильській АЕС, забрудненням атмосфери та водоймищ промисловими викидами, наявністю в сільськогосподарській продукції важких металів, пестицидів і нітритів, що супроводжується зниженням рівня здоров'я населення, порушенням багатьох життєво важливих функцій організму людини, зокрема імунізаційних, геморагічних тощо.

Тому однією з актуальних проблем, вирішених співробітниками ПНДЛ, стала розробка технологій нових видів продуктів для використання в раціоні харчування людей, лікувально-профілактичних харчових добавок, що дають змогу не тільки відновити енергетичні витрати організму, а й забезпечити посилення його імунізаційних функцій (зокрема, до дії радіонуклідів), поповнити вміст вітамінів, незамінних амінокислот, жирних кислот, харчових волокон тощо.

В основу розроблюваних продуктів було закладено ідею: вони повинні відзначатись збалансованим складом, хорошою засвоюваністю, здатністю

---

підвищувати неспецифічну резистентність організму людини до дії шкідливих чинників; зв'язувати, нейтралізувати та виводити з організму шкідливі для здоров'я агенти, важкі метали, радіонукліди, пестициди, нітриди.

На жаль, і сьогодні в раціоні харчування людей відсутні продукти з вираженою протипроменевою дією та загальнозмінюючим ефектом. А 20 років тому ця проблема була ще болючішою. Водночас науковці розуміли, що сільськогосподарська сировина, яка вирощується в Україні, отримані з неї продукти та вторинні сировинні ресурси при відповідних технологіях і гарантованій утилізації можуть значною мірою забезпечити потреби населення України в лікувальному, профілактичному та дитячому харчуванні високої якості.

Реалізуючи цю мету, співробітники ПНДЛ розробили та освоїли технологію пророщеного гороху та інших культур і на їхній основі — широку гаму нових продуктів, у тому числі лікувально-профілактичного призначення (науковий керівник — проф. Домарецький В.П.). Методами кріотехнології одержано нові харчові продукти та дієтичні добавки поліфункціонального призначення з високим вмістом вітамінів, поліфенольних сполук, мікроелементів для масового споживання, лікувально-профілактичного й дитячого харчування із заданими функціональними властивостями та фізіологічними ефектами (наукові керівники — акад. Гулий І.С., проф. Прядко М.О.). Для цієї мети використовувались рослинні матеріали традиційних (буряк, морква, смородина тощо) і нетрадиційних (топінамбур, бруньки та лист смородини, амарант, горобина тощо) для харчової промисловості видів. Перспективною виявилась також кріопереробка листових овочів, зокрема шпинату. Було отримано нові наукові та практичні результати кріогенного перероблення амаранту. Саме цій рослині, на думку академіка М.І. Вавилова, судилося нагодувати людство.

Під керівництвом академіка Гулого І.С. та професора Бобрівника Л.Д. успішно продовжувались дослідження зі створення нових продуктів на основі топінамбуру з урахуванням його позитивної дії на організм людини, передусім — для хворих з порушенням обміну речовин.

Актуальність цих досліджень, їхня неординарність і важливість для науки й практики зумовлена тим, що основною діючою речовиною топінамбуру є інулін, який впливає на обмін речовин в організмі і має яскраво виражену гіпоглікемічну та гіпохолестеричну дію. Зважаючи на той факт, що в Україні понад 2 млн хворих на діабет і поки що відсутнє виробництво антидіабетичних препаратів рослинного походження, створення чистого біологічно активного препарату на основі природного інуліну мало важливе соціальне значення. Одержання похідних інулінів дало змогу створити речовини з цілком новими властивостями, що знайшли широке застосування в різних галузях промисловості та медицини.

Важливе значення мали дослідження та розробка технології і устаткування для виробництва продуктів для дитячого харчування, основ для безалкогольних напоїв, розробка нових видів вершкового масла з наповнювачами на основі рослинної сировини — кріопорошків, пектиновмісних напівфабрикатів тощо (наукові керівники — акад. Гулий І.С., проф. Прядко М.О., проф. Домарецький В.П.).

---

Здійснювався пошук ефективних стабілізаторів окислення харчових продуктів, що стало основою для створення принципово нового напрямку — отримання нового покоління стабілізаторів окислення харчових продуктів. Ця проблема була особливо актуальною після аварії на Чорнобильській АЕС, оскільки більшість харчових продуктів підлягали очищенню від радіонуклідів різними адсорбційними методами, внаслідок чого з них виводились і природні стабілізатори, які необхідно було поповнювати ефективними синтетичними аналогами.

Важливим чинником успішного виконання тематичних планів ПНДЛ було те, що наукові керівники лабораторії — і академік Гулий І.С., і професор Українець А.І. — приділяли велику увагу обов'язковому проведенню в межах лабораторії пошукової тематики: або виділяючи на неї певну суму коштів із загального фінансування, або як ініціативну. Практично всі пошукові теми через рік-два набували статусу фундаментальних або прикладних розробок, включених до складу чергового тематичного плану. Це давало можливість вчасно виконати всі передбачені завдання з високим науковим, економічним і соціальним ефектом.

Основну роботу з формування тематичних планів ПНДЛ, організації виконання наукових тематик, підготовки звітності як у межах університету, так і на рівні Міністерства освіти, раціонального використання фінансів здійснювали завідувачі Проблемної науково-дослідної лабораторії. Цей перелік досить солідний:

Володимир Матвійович Логвін (1977—1978 pp.);  
Валерій Остапович Штангєєв (1978—1985 pp.);  
В'ячеслав Віталійович Петрушевський (1985—1986 pp.);  
Сергій Іванович Потапенко (1986—1988 pp.);  
Галина Олександрівна Сімахіна (1988—1999 pp.);  
Анатолій Іванович Українець (1999—2000 pp.);  
Юрій Олександрович Дашковський (2000—2011 pp.);  
Валерій Болеславович Захаревич (2011—2016 pp.);  
Андрій Іванович Маринін (2016 р. — до сьогодні).

Наукове керівництво тематиками ПНДЛ у різний час здійснювали і здійснюють академік УААН І.С. Гулий, професори М.О. Прядко, Л.Д. Бобрівник, В.І. Дробот, В.П. Домарецький, Л.П. Рева, М.С. Карпович, М.П. Купчик, В.М. Гуцалюк, Л.В. Кисла, А.І. Українець, Г.О. Сімахіна, П.Л. Шиян, Т.О. Рашевська, Т.П. Пирог, О.Ю. Шевченко, О.М. Гавва та інші провідні науковці університету.

Свій ювілей проблемна науково-дослідна лабораторія зустрічає гідно, з високими науковими та практичними результатами, які формують принципово новий напрям у харчовій промисловості України — інноваційний. Аналіз цих результатів дає змогу констатувати, що харчування відноситься до найважливіших чинників навколишнього середовища, які безпосередньо протягом усього життя впливають на організм людини. Біокомпоненти харчових продуктів, перетворюючись у процесі метаболізму на структурні та функціональні елементи клітин живого організму, забезпечують його фізичну та

---

розумову працездатність, адаптаційні можливості, імунний статус, визначаючи стан здоров'я людини, тривалість її життя, соціальну та індивідуальну активність. Роботи, які виконувались, виконуються і будуть предметом вивчення наших науковців, підтверджують, що проблема збереження здоров'я населення, збільшення тривалості життя кожного індивіда перестала бути сферою уваги лише біології та медицини і посіла значне місце в розвитку новітніх харчових технологій, визначаючи напрями та пріоритети подальших досліджень у Проблемній науково-дослідній лабораторії Національного університету харчових технологій.

Науковий керівник ПНДЛ,  
д.т.н., професор, ректор НУХТ

А.І. Українець

УДК 759.873.088.5:661.185

**INFLUENCE OF CULTIVATION CONDITIONS OF SURFACTANT PRODUCERS *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMV B-7241, *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMV AC-5017 AND *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405 ON SYNTHESIS OF PHYTOGORMONES**

T. Pirog, D. Gavrylkina

National university of food technologies

N. Leonova, T. Shevchuk

Zabolotny Institute of Microbiology and Virology

National Academy of Sciences of Ukraine

**Key words:**

*Microbial surfactants*

*Auxins*

*Cytokinins*

*Biosynthesis*

*Carbon source nature*

**Article history:**

Received 06.09.2017

Received in revised form

20.09.2017

Accepted 05.10.2017

**Corresponding author:**

Pirog T.

**E-mail:**

npuht@ukr.net

**ABSTRACT**

The synthesis of phytohormones under cultivation of surfactant producers *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 and *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on various carbon substrates, including industrial waste, was studied in the article. The level of extracellular auxins and cytokinins synthesis and their qualitative composition depended on the nature of carbon source in cultivation media of the strains under investigation. The highest quantity of auxins (770 µg/l) and widest spectrum of these phytohormones were synthesized by *N. vaccinii* IMV B-7405, when grown on refined oil. The concentration of cytokinins was maximal (348—364 µg/l) when cultivating *N. vaccinii* IMV B-7405 and *A. calcoaceticus* IMV B-7241 on refined oil and purified glycerol, respectively. When all strains were grown on fried sunflower oil, the concentration of synthesized phytohormones was on average 40—70 µg/l. The possibility of developing waste-free technology for obtaining complex microbial preparations with various biological properties of multifunctional applying is being discussed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-4

**ВПЛИВ УМОВ КУЛЬТИВУВАННЯ ПРОДУЦЕНТІВ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMB B-7241, *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* IMB AC-5017 І *NOCARDIA VACCINII* IMB B-7405 НА СИНТЕЗ ФІТОГОРМОНІВ**

Т. Пирог, Д. Гаврилкіна

Національний університет харчових технологій

Н. Леонова, Т. Шевчук

Інститут мікробіології і вірусології НАН України ім. Д.К. Заболотного

У статті досліджено синтез фітогормонів за умов росту продуцентів поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, *Rho-*

*dococcus erythropolis* IMB Ac-5017 і *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 на різних вуглецевих субстратах, у тому числі й промислових відходах. Рівень синтезу позаклітинних ауксинів і цитокінінів та їх якісний склад залежав від природи джерела вуглецю у середовищі культивування досліджуваних штамів. Найвищу кількість ауксинів (770 мкг/л) і найширший спектр цих фітогормонів синтезував штам *N. vaccinii* IMB B-7405 за умов росту на рафінованій олії. Концентрація цитокінінів була максимальною (348—364 мкг/л) у разі культивування *N. vaccinii* IMB B-7405 і *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на рафінованій олії й очищеному гліцерині відповідно. За умов росту всіх штамів на відпрацьованій соняшниковій олії концентрація синтезованих фітогормонів становила в середньому 40—70 мкг/л. Проаналізовано можливість розробки безвідходної технології одержання комплексних мікробних препаратів з різноманітними біологічними властивостями мультифункціонального призначення.

**Ключові слова:** мікробні поверхнево-активні речовини, ауксини, цитокініни, біосинтез, природа джерела вуглецевого живлення.

**Постановка проблеми.** Раніше [1] під час дослідження антимікробної активності поверхнево-активних речовин (ПАР) *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017 і *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 було встановлено, що за наявності супернатантів культуральної рідини, що містить ПАР, спостерігали стимуляцію росту деяких тест-культур мікроорганізмів. Такі результати стали основою для припущення, що досліджувані штами-продуценти одночасно з поверхнево-активними речовинами можуть синтезувати і метаболіти стимулювальної дії, зокрема фітогормони. Пізніше [2] це припущення було підтверджене експериментально. У [2] встановлено, що за умов росту на традиційних субстратах *A. calcoaceticus* IMB B-7241, *R. erythropolis* IMB Ac-5017 і *N. vaccinii* IMB B-7405 утворюють ауксини і цитокініни.

Зазначимо, що на сьогодні відсутні відомості про синтез фітогормонів продуцентами поверхнево-активних речовин. Водночас у літературі є дані про те, що мікробні ПАР беруть участь у регуляції рослинно-мікробної взаємодії [3], а також здатні стимулювати ріст рослин [4]. Цілком імовірно, що ефект ПАР, описаний у [3; 4], зумовлений синтезом продуцентами ПАР регуляторів росту рослин, проте автори це не досліджували.

Оскільки фітогормони, як і поверхнево-активні речовини, є вторинними метаболітами і синтезуються у вигляді комплексу подібних сполук, їх співвідношення може змінюватися в різних умовах культивування продуцента, що супроводжуватиметься зміненням біологічних властивостей цільового продукту, як це було встановлено нами для ПАР штамів *N. vaccinii* IMB B-7405 і *A. calcoaceticus* IMB B-7241 [5; 6]. Крім того, впродовж процесу біосинтезу може змінюватися і співвідношення утворюваних поверхнево-активних речовин і фітогормонів, що призводить до зміни біологічних властивостей синтезованого комплексу вторинних метаболітів.

Зазначимо, що здатність мікроорганізмів до синтезу комплексу метаболітів з різноманітними біологічними властивостями значно розширює сфери їх практичного застосування. Крім того, залежно від галузі використання



мікробних препаратів (природоохоронні технології, сільське господарство, медицина тощо) їх біологічні властивості можуть виявитися різними.

**Мета статті:** дослідити синтез фітогормонів у різних умовах культивування продуцентів поверхнево-активних речовин *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241, *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 і *N. vaccinii* ІМВ В-7405.

**Матеріали і методи.** Об'єкти дослідження — штами *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, *Acinetobacter calcoaceticus* К-4 та *Nocardia vaccinii* К-8, зареєстровані у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України за номерами ІМВ Ас-5017, ІМВ В-7241 та ІМВ В-7405 відповідно.

*R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 вирощували у рідкому середовищі (г/л):  $\text{NaNO}_3$  — 1,3—2,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{NaCl}$  — 1,0;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  — 0,6;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,14;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,001, рН 6,8—7,0. Як субстрати використовували етанол, гліцерин, н-гексадекан, рафіновану і відпрацьовану після смаження м'яса соняшниковою олією у концентрації 1% (об'ємна частка).

Для культивування *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 використовували середовище такого складу (г/л):  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  — 0,35—1,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{NaCl}$  — 1,0;  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  — 0,6;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,14, рН 6,8—7,0. У середовище додатково вносили дріжджовий автолізат — 0,5 (об'ємна частка) і розчин мікроелементів — 0,1 (об'ємна частка). Джерело вуглецю — очищений гліцерин, етанол, рафінована і відпрацьована після смаження м'яса соняшникова олія у концентрації 1% (об'ємна частка).

Штам *N. vaccinii* ІМВ В-7405 вирощували у середовищі, що містило (г/л):  $\text{NaNO}_3$  — 0,5—1,25;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — 0,1;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 0,1;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,001; дріжджовий автолізат — 0,5% (об'ємна частка). Джерело вуглецю та енергії — очищений гліцерин, рафінована, а також відпрацьована після смаження м'яса і картоплі «фрі» соняшникова олія в концентрації 1% (об'ємна частка).

Як інокулянт використовували культури в експоненційній фазі росту, вирощені на відповідних рідких середовищах, що містили 0,5—1% (об'ємна частка) субстрату. Кількість посівного матеріалу ( $10^4$ — $10^5$  кл/мл) становила 5—10% від об'єму поживного середовища. Культивування бактерій здійснювали в колбах об'ємом 750 мл з 100 мл середовища на качалці (320 об./хв) при 28—30° С упродовж 120 год.

Фітогормони визначали у супернатанті, для отримання якого культуральну рідину центрифугували (5000 г) упродовж 25 хв. Залишки соняшникової олії з культуральної рідини видаляли шляхом її трикратної екстракції петролейним ефіром або гексаном (співвідношення 1:1).

Позаклітинні фітогормони ауксини, цитокініни й абсцизову кислоту виділяли методом перерозподілу фітогормонів у двох фазах розчинників, що не змішуються між собою: етилацетаті (для ауксинів і абсцизової кислоти), рН 3,0; н-бутанолі (для цитокінінів), рН 8,0 [7]. Отримані екстракти випарювали під вакуумом при 40—45° С, сухий залишок розчиняли в етанолі і використовували для фізико-хімічного аналізу фітогормонів.

Попереднє очищення і концентрування фітогормонів проводили на пластинках із силікагелем марки “Silufol UV254” (Chemapol, Чехія) у суміші

розчинників, що вводили послідовно: хлороформ, 12,5% водний амміак, етилацетат: оцтова кислота (20:1). Очищені таким чином екстракти цитокінінів, АБК та індольних сполук розділяли на пластинках з окисом алюмінію і кремнію (Merck, Німеччина) [8]. Кількісне визначення фітогормонів встановлювали за допомогою скануючого спектроденситометра Сорбфіл (Росія), як стандарти використовували синтетичні фітогормони фірм Sigma-Aldrich (Німеччина) і Acros Organics (Бельгія). Кількість позаклітинних фітогормонів розраховували у мкг/л супернатанту.

Усі досліди проводили в трьох повторностях, кількість паралельних визначень в експериментах становила від 3 до 5. Статистичну обробку експериментальних даних проводили, як описано раніше [1; 2]. Відмінності середніх показників вважали достовірними при рівні значущості  $p < 0,05$ .

**Результати і обговорення.** Серед мікроорганізмів здатність до синтезу фітогормонів властива насамперед ґрунтовим ризосферним і епіфітним мікроорганізмам, а також бактеріям-симбіонтам, фітопатогенним бактеріям і грибам [9—11]. Деякі з них (гібереліни, цитокініни, фузикоцини) ідентифіковані в мікробних культурах раніше, ніж в рослинах. Зазначимо, що фітогормони синтезують і ті мікроорганізми, життєдіяльність яких не пов'язана безпосередньо з рослинами.

На основі аналізу літературних даних, що стосуються синтезу фітогормонів мікроорганізмами [9—11], можна зробити такі висновки:

- велика кількість мікроорганізмів здатна синтезувати фітогормони, що належать до трьох основних груп гормонів-стимуляторів: ауксини, цитокініни і гібереліни. Причому представники одного роду і навіть виду здатні до синтезу відразу кількох гормонів;

- здатні до синтезу фітогормонів мікроорганізми стимулюють і ріст вищих рослин, що підтверджено великою кількістю досліджень;

- не підтверджується зв'язок фітогормональної активності з патогенністю мікроорганізмів або їх епіфітним (ендофітним) способом існування;

- здатність до синтезу фітогормонів відрізняється великою варіабельністю не тільки в межах одного роду, а й навіть виду;

- для мікроорганізмів характерним є синтез фітогормонів за типом вторинного метаболізму, коли максимум концентрації продукту припадає на стаціонарну фазу росту, а накопичення продукту відбувається лінійно.

У табл. 1—3 наведено дані щодо синтезу фітогормонів за умов росту *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241, *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 і *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на різних вуглецевих субстратах, у тому числі й відпрацьованій (пересмаженій) соняшниковій олії.

Ці дані засвідчують, що всі досліджувані штами синтезували ауксини, цитокініни і абсцизову кислоту, проте рівень синтезу фітогормонів і їх якісний склад залежав як від природи джерела вуглецю у середовищі культивування, так і штамових особливостей.

Найменш «продуктивним» щодо синтезу ауксинів і цитокінінів виявився штам *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 (табл. 2). Разом з тим найвищу кількість фітогормонів ауксинової (91,3 мкг/л) і цитокінінової (37,8 мкг/л) природи цей штам синтезував на відпрацьованій олії. Зазначимо, що практично аналогічну

кількість ауксинів і цитокінінів (43,6—83,2 мкг/л) на цьому субстраті утворював і штам *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 (табл. 1). Здатність до синтезу фітогормонів за умов росту *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на відпрацьованій олії залежала від якості субстрату: кількість ауксинів була вищою і становила 84,7 мкг/л на відпрацьованій після смаження картоплі, тоді як концентрація цитокінінів (53,9 мкг/л) — на відпрацьованій після смаження м'яса олії (табл. 3).

**Таблиця 1. Синтез позаклітинних фітогормонів за умов росту *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 на різних вуглецевих субстратах**

Фітогормони	Концентрація (мкг/л) за умов росту на			
	етанолі	гліцерині	рафінованій олії	відпрацьованій олії
Ауксини:				
Індоліл-3-оцтова кислота	24,9	14,3	4,9	—
Індол-3-карбоксилова кислота	24,9	12,1	22,3	45,8
Індол-3-масляна кислота	51,0	95,6	—	32,7
Індол-3-оцтової кислоти гідрозид	3,4	—	5,0	4,7
Індол-3-карбоксальдегід	—	—	7,4	—
<i>Загальна кількість ауксинів</i>	104,2	122,0	39,6	83,2
Цитокініни:				
Кінетин	—	214,0	25,2	12,0
Зеатин	3,5	42,2	28,3	17,5
Зеатин-рибозид	—	96,3	16,8	9,3
Ізопентеніл-аденін	—	—	—	—
Ізопентеніл-аденозин	—	11,4	4,8	4,8
<i>Загальна кількість цитокінінів</i>	3,5	363,9	75,1	43,6
Абсцизова кислота	1,3	0,9	—	2,3

**Примітки:** «—» — не виявлено. Вирощування штаму здійснювали на відпрацьованій після смаження м'яса олії.

**Таблиця 2. Вплив природи джерела вуглецю у середовищі культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 на синтез позаклітинних фітогормонів**

Фітогормони	Концентрація (мкг/л) за умов росту на			
	етанолі	н-гекса-декані	рафінованій олії	відпрацьованій олії
1	2	3	4	5
Ауксини:				
Індоліл-3-оцтова кислота	81,1	21,4	4,5	42,5
Індол-3-карбоксилова кислота	—	—	10,3	—
Індол-3-масляна кислота	—	—	—	44,7
Індол-3-оцтової кислоти гідрозид	3,2	—	—	4,1
Індол-3-карбоксальдегід	—	23,4	4,6	—
<i>Загальна кількість ауксинів</i>	84,3	44,8	19,4	91,3
Цитокініни:				
Кінетин	—	—	—	—
Зеатин	—	1,9	5,3	7,2
Зеатин-рибозид	—	19,5	5,9	15,5

1	2	3	4	5
Ізопентеніл-аденін	—	—	—	—
Ізопентеніл-аденозин	—	—	5,9	15,1
Загальна кількість цитокінінів	—	21,4	17,1	37,8
Абсцизова кислота	3,6	3,2	1,5	8,8

**Примітки:** «—» — не виявлено. Вирощування штаму здійснювали на відпрацьованій після смаження м'яса олії.

Таблиця 3. Утворення позаклітинних фітогормонів *N. vaccinii* ІМВ В-7405 залежно від природи ростового субстрату

Фітогормони	Концентрація (мкг/л) за умов росту на			
	гліцерині	рафінованій олії	Відпрацьованій після смаження картоплі олії	Відпрацьованій після смаження м'яса олії
Ауксини:				
Індоліл-3-оцтова кислота	—	290,0	30,6	—
Індол-3-карбоксилова кислота	—	297,3	31,1	—
Індол-3-масляна кислота	139,9	—	—	—
Індол-3-оцтової кислоти гідрозид	—	20,7	—	—
Індол-3-карбоксальдегід	—	162,4	23,0	23,3
Загальна кількість ауксинів	139,9	770,4	84,7	23,3
Цитокініни:				
Кінетин	—	—	2,5	3,2
Зеатин	—	8,2	6,4	—
Зеатин-рибозид	—	46,6	5,6	11,8
Ізопентеніл-аденін	—	—	0,4	—
Ізопентеніл-аденозин	—	293,2	1,2	38,9
Загальна кількість цитокінінів	—	348,0	15,9	53,9
Абсцизова кислота	3,1	12,6	—	—

**Примітки:** «—» — не виявлено.

Найвищу кількість ауксинів (770 мкг/л) і найширший спектр цих фітогормонів синтезував штаму *N. vaccinii* ІМВ В-7405 за умов росту на рафінованій олії. Концентрація цитокінінів була максимальною (348—364 мкг/л) у разі культивування *N. vaccinii* ІМВ В-7405 і *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 на рафінованій олії й очищеному гліцерині відповідно (табл. 4). Загалом, синтез ауксинів спостерігався під час вирощування всіх досліджуваних штамів на всіх субстратах, тоді як у процесі культивування *R. erythropolis* ІМВ Ас-5017 на етанолі і *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на гліцерині утворення цитокінінів не відбувалося (табл. 4).

Рівень синтезу абсцизової кислоти (фітогормон інгібіторного типу) за умов росту досліджуваних штамів практично на всіх субстратах був невисоким і перебував у межах 1—4 мкг/мл. Дещо вищою (9—13 мкг/л) була концентрація цього фітогормону у процесі культивування штаму ІМВ Ас-5017 і ІМВ В-7405 на відпрацьованій після смаження м'яса і рафінованій олії відповідно (табл. 4).

*Таблиця 4. Вплив умов культивування A. calcoaceticus IMB B-7241, R. erythropolis IMB Ac-5017 і N. vaccinii IMB B-7405 на синтез фітогормонів*

Субстрат	Штам	Концентрація (мкг/л)		
		ауксини	цитокініни	абсцизова кислота
Етанол	IMB B-7241	104,2	3,5	1,3
	IMB Ac-5017	84,3	—	3,6
Гліцерин	IMB B-7241	122,0	363,9	0,9
	IMB B-7405	139,9	—	3,1
н-Гексадекан	IMB Ac-5017	44,8	21,4	3,2
Рафінована олія	IMB B-7241	39,6	75,1	—
	IMB B-7405	770,4	348,0	12,6
	IMB Ac-5017	19,4	17,1	1,5
Відпрацьована після смаження м'яса олія	IMB B-7241	83,2	43,6	2,3
	IMB B-7405	23,3	53,9	—
	IMB Ac-5017	91,3	37,8	8,8
Відпрацьована після смаження картоплі олія	IMB B-7405	84,7	15,9	—

**Примітки:** «—» — не виявлено.

Зазначимо, що в літературі переважно наводяться дані щодо синтезу ауксинів і цитокінінів мікроорганізмами, асоційованими з рослинами [9; 10; 12]. Звичайно ж, рівень синтезу фітогормонів у таких бактерій і грибів є вищим (від 600 до 40000 мкг/л), ніж у досліджуваних нами штамів. Проте враховуючи, що фітогормони проявляють стимулювальну дію у надзвичайно низьких концентраціях ( $10^{-12}$ — $10^{-5}$  моль/л), показники їх синтезу продуцентами поверхнево-активних речовин є прийнятними для практичного використання у рослинництві.

### **Висновок**

Здатність *A. calcoaceticus* IMB B-7241, *R. erythropolis* IMB Ac-5017 і *N. vaccinii* IMB B-7405 до одночасного синтезу поверхнево-активних речовин і фітогормонів за умов росту на різних субстратах, у тому числі й на дешевих промислових відходах, дає змогу розробити економічно вигідну безвідходну технологію одержання комплексних мікробних препаратів з різноманітними біологічними властивостями (антимікробними, антиадгезивними, рістстимулювальними), а також перспективними для використання у природоохоронних технологіях для очищення довкілля від ксенобіотиків.

### **Література**

1. Pirog T.P., Konon A.D., Sofilkanich A.P., Iutinskaia G.A. Effect of surface-active substances of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, and *Nocardia vaccinii* K-8 on phytopathogenic bacteria. *Appl. Biochem. Microbiol.* 2013; 49(4): 360—367. doi:10.1134/S000368381304011X.
2. Pirog T.P., Leonova N.O., Shevchuk T.A., Savenko I.V., Iutinskaya G.A. Synthesis of phytohormones bacteria of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 and *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 — producers of surface-active substances. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, biological series.* 2016; 1: 90—95.

3. Sachdev D.P., Cameotra S.S. Biosurfactants in agriculture. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2013; 97(3): 1005—1016. doi: 10.1007/s00253-012-4641-8.
4. Карпенко О.В., Корецька Н.І., Щеглова Н.С., Карпенко І.В., Баранов В.І. Стимулювання росту злакових рослин поверхнево-активними рамноліпідами. *Biotechnologia acta.* 2013; 6(6): 94—99.
5. Pirog T.P., Panasyuk E.V., Nikityuk L.V., Iutinska G.O. Influence of cultivation conditions on antimicrobial properties of *Nocardia vaccini* IMV B-7405 surfactants. *Biotechnologia acta.* 2016; 9(1): 38—47. doi: 10.15407/biotech9.01.038.
6. Pirog T.P., Sidor I.V., Lutsai D.A. Calcium and magnesium cations influence on antimicrobial and antiadhesive activity of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 surfactants. *Biotechnologia Acta.* 2016; 9(6): 50—57. doi: 10.15407/biotech9.06.050.
7. Методические рекомендации по определению фитогормонов. Киев: Ин-т ботаники АН УССР, 1988. — 78 с.
8. Савинский С.В., Кофман И.Ш., Кофанов В.И., Стасевская И.Л. Методические подходы к определению фитогормонов с помощью спектроденситометрической тонкослойной хроматографии. *Физиол. и биохим. культ. раст.* 1987; 19(2): 210—215.
9. Enders T.A., Strader L.C. Auxin activity: past, present, and future. *Amer. J. Botany.* 2015; 102(2): 180—196. doi:10.3732/ajb.1400285.
10. Стрелецкий Р.А. Эколого-таксономические аспекты распространения фитогормональной активности среди дрожжей. Дисс. канд. биол. наук. — Москва, 2017. — 132 с.
11. Shi T.Q., Peng H., Zeng S.Y., Ji R.Y., Shi K., Huang H., Ji X.J. Microbial production of plant hormones: Opportunities and challenges. *Bioengineered.* 2017; 8(2): 124—128. doi: 10.1080/21655979.2016.1212138.
12. Дімова С.Б. Фітогормони — продукти життєдіяльності мікроорганізмів. Методи визначення Сільськогосподарська мікробіологія. — 2013. — № 18. — С. 159—185.

УДК 604:631.8

## EFFECT OF COMPOSITIONS OF SURFACE-ACTIVE RHAMNOLIPID BIOCOMPLEX AND THIOSULFONATES ON WINTER WHEAT GROWTH IN MODEL CONDITIONS OF DROUGHT

V. Shvets, O. Karpenko

*Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels InPOCC, National Academy of Sciences of Ukraine*

V. Novikov, V. Lubenets

*Lviv Polytechnic National University*

---

**Key words:**

*Rhamnolipid biocomplex  
Allylthiosulfanilate  
Ethylthiosulfanilate  
Compositions  
Mannitol  
Winter wheat*

---

**Article history:**

Received 10.09.2017

Received in revised form  
24.09.2017

Accepted 14.10.2017

---

**Corresponding author:**

V. Shvets

**E-mail:**

npuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The aim of this work is to investigate the effect of the surface-active rhamnolipid biocomplex (RBC) and the biocides of the thiosulfonate structure: allylthiosulfanilate (ATC), ethylthiosulfanilate (ETC) on winter wheat growth under model drought conditions. Seeds of plants before seeding were treated with solutions of RBC, ATS, ETS and their compositions, they grown on mediums with mannitol of various concentrations (model conditions of moisture deficiency), the preparations effect was assessed by plant growth parameters. The greatest stimulating effect was shown for compositions of RBC + ATS: the root mass increased by 37%, RBC + ETC — by 18.5% compared to the control. Research results show that the RBC + ATC compositions as well as RBC + ETC are effective stimulators of winter wheat growth, and the compositions increase of adaptive ability of plants to drought conditions. The results of the study create prospects for using the compositions as effective and environmentally friendly preparations for growing plants under adverse conditions.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-5

---

## ВПЛИВ КОМПОЗИЦІЙ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНОГО РАМНОЛІПІДНОГО БІОКОМПЛЕКСУ І ТІОСУЛЬФОНАТІВ НА РОСТОВІ ПОКАЗНИКИ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ У МОДЕЛЬНИХ УМОВАХ ПОСУХИ

В.В. Швець, О.В. Карпенко

*Відділення фізико-хімії горючих копалин ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України*

В.П. Новіков, В.І. Лубенець

*Національний університет «Львівська політехніка»*

*У статті досліджено вплив поверхнево-активного рамноліпідного біокомплексу (РБК) та біоцидів тіосульфонатної структури: алілтіосульфанілату*

(АТС), етилтіосульфанілату (ЕТС) на пшеницю озиму за вирощування в модельних умовах посухи. Насіння рослин перед посівом обробляли розчинами РБК, АТС, ЕТС та їх композицій й вирощували на середовищах з манітом різних концентрацій (модельні умови дефіциту вологи), вплив препаратів оцінювали за ростовими параметрами рослин. Найбільший стимулювальний вплив показано для композицій РБК + АТС: маса кореня збільшувалася на 37%, РБК + ЕТС — на 18,5% порівняно з контролем. Результати дослідження свідчать, що композиції РБК + АТС, а також РБК + ЕТС є ефективними стимуляторами росту пшениці озимої, а також сприяють підвищенню адаптаційної здатності рослин до умов посухи. Це створює перспективи їх використання як ефективних та екологічно безпечних препаратів для вирощування рослин у несприятливих умовах.

**Ключові слова:** рамноліпідний біокомплекс, аліттіосульфанілат, етилтіосульфанілат, маніт, пшениця озима.

**Постановка проблеми.** Створення новітніх агропрепаратів, безпечних для довкілля, тварин і людини, з використанням біологічно активних речовин є актуальною проблемою сучасної біотехнології. У наш час важливою проблемою сільського господарства є підвищення стійкості рослин до несприятливих умов, зокрема посухи, підвищеного вмісту солей, забруднень ґрунту тощо.

Посуха є одним з основних абіотичних стресів, що впливає на різноманітні культурні рослини та їх урожайність у всьому світі. Дана проблема характеризується не просто дефіцитом вологи, а є складною комбінацією нестачі води, температурного стресу та інших природних факторів. Збитки від посухи перевищують втрати від будь-якого іншого стресового фактора [1].

В Україні значна площа орних земель розташована в зонах недостатнього й нестійкого водозабезпечення, тому посухостійкість рослин часто є визначальним чинником у рослинництві. Актуальною проблемою залишається одержання високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур, а також створення раціональних технологій їх вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Тому серед пріоритетних напрямів землеробства важливим є пошук шляхів зменшення негативного впливу посухи на рослини і біоценоз ґрунту.

Відомо, що одним із критичних періодів реакції рослин на посуху є стадія проростання насіння, оскільки відхилення від оптимальних умов в цей період негативно впливає на ріст і розвиток пшениці на всіх наступних етапах [2]. Тому важливими елементами сучасних технологій рослинництва є створення екологічно безпечних препаратів нового покоління для передпосівного оброблення насіння, які стимулюють процес проростання, захищають насіння при їх довготривалому перебуванні в несприятливих умовах, підвищують польову схожість насіння, сприяють активному розвитку кореневої системи. Разом з тим такі препарати мають бути нешкідливими для людей, тварин і довкілля.

На нашу думку, перспективними препаратами для підвищення стійкості рослин до несприятливих умов можуть бути біогенні поверхнево-активні речовини (біоПАР) завдяки своїй високій ефективності та унікальності фізико-хімічних і біологічних властивостей. БіоПАР мають низку переваг перед



синтетичними ПАР, оскільки є біодеградабельними і малотоксичними, що визначає їх використання в екологічно безпечних технологіях [3]. Здатність біоПАР впливати на проникність клітинних мембран, активність ензимів, інших біологічно активних речовин сприяє росту рослин [4].

Не тільки посуха як фактор навколишнього середовища, але й фітопатогенні гриби, які наявні у ґрунті, інгібують ріст рослин, тому використання біоцидів також є доцільним для захисту рослин в таких умовах. Біоциди алілтіосульфанілат (АТС) і етилтіосульфанілат (ЕТС) — синтетичні аналоги фітонциди часнику або цибулі — належить до дисульфуровмісних органічних сполук і виявляють широкий спектр протимікробної активності [5]. За низьких концентрацій АТС і ЕТС можуть бути регулятором росту рослин [6]. Проте їх дію на ріст рослин в умовах посухи не досліджували.

**Мета статті:** дослідження впливу композицій рамноліпідного біокомплексу та тіосульфонатів на ростові показники пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) в модельних умовах посухи.

**Матеріали і методи.** Для дослідження використано насіння пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.), а також біологічно активні препарати: алілтіосульфанілат (АТС) та етилтіосульфанілат (ЕТС) — синтетичний аналог фітонцидів часнику (кафедра технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка») [6; 7], і поверхнево-активний рамноліпідний біокомплекс (РБК) — продукт мікробного синтезу штаму *Pseudomonas* sp. PS-17, що містить рамноліпіди і полісахарид (4:1), отриманий у відділенні фізико-хімії горючих копалин ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України [8].

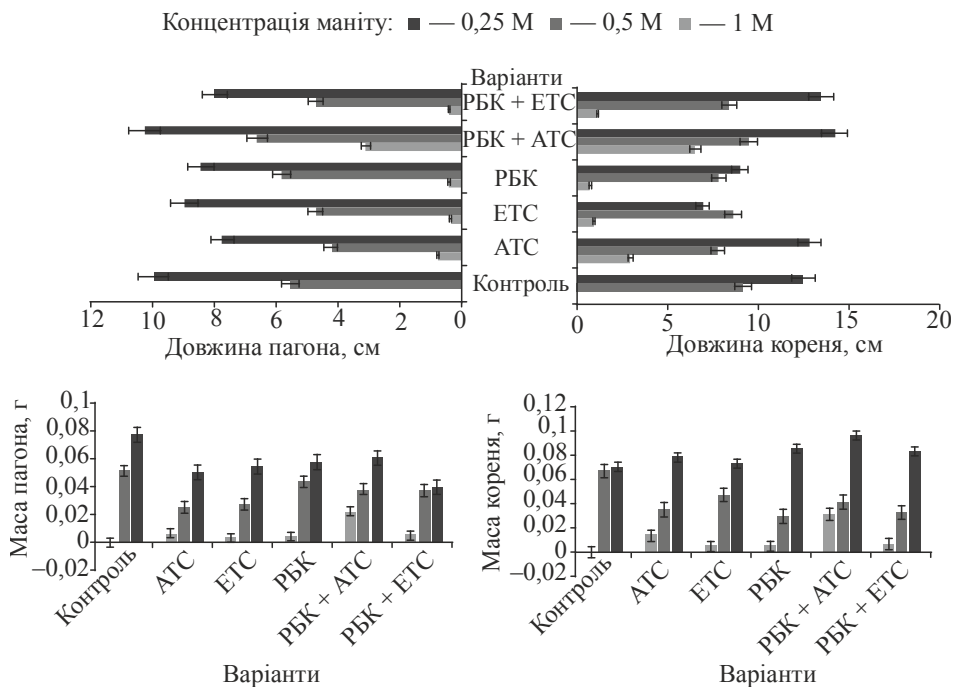
Діагностика стійкості пшениці до дефіциту вологи проводилася за здатністю насіння проростати в осмотичних розчинах маніту ( $C_6H_{14}O_6$ ) як модельного середовища посухи, ріст оцінювали за довжиною зародкових коренів і пагонів.

Передпосівне оброблення насіння проводили за загальноприйнятою методикою [9]: замочували впродовж 3 год у розчинах (0,01 г/л) РБК, АТС, ЕТС та їх композицій, контрольне насіння замочували у воді. Оброблене насіння поміщали у чашки Петрі на фільтрувальний папір, змочений розчинами маніту (10 мл) таких концентрацій: 2 М, 1 М, 0,5 М, 0,25 М. Відбирали чотири порції непошкодженого замоченого насіння і рівномірно розкладали їх в чашки по 10 штук у кожену. Чашки закривали кришками, поміщали у термостат за температури 22—23° С. Через тиждень підраховували кількість пророслого насіння. Досліди проводили у 4-кратній повторності. Для статистичного оброблення даних використовували програму Microsoft Excel.

**Результати і обговорення.** Для дослідження впливу розробленої композиції на основі рамноліпідного біокомплексу штаму *Pseudomonas* sp. PS-17 з тіосульфонатами на пшеницю використовували модельні умови фізіологічної сухості, що дають змогу визначити відносну посухостійкість рослин і вплив препаратів на процес проростання насіння.

Оптимальні концентрації розчинів РБК, АТС, ЕТС та їх композицій було визначено в попередніх дослідженнях [7; 8].

Вивчали вплив композицій РБК, АТС, ЕТС на морфометричні показники рослин за росту на чашках Петрі з різними концентраціями маніту. При порівнянні ростових параметрів у дослідних варіантах спостерігався стимулювальний ефект за дії як РБК, АТС й ЕТС, проте кращі результати було зафіксовано при дії розробленої композиції РБК + АТС (дані представлені на рисунку).



**Рис. Вплив композицій рамноліпідного біокомплексу і тіосульфатів на ростові показники пшениці озимої у модельних умовах посухи:** РБК — рамноліпідний біокомплекс; АТС — алілтіосульфанілат; ЕТС — етилтіосульфанілат; контроль — дистильована вода; показники дослідних варіантів вірогідно відмінні від контролю,  $P \geq 0,05$

Аналіз ростових параметрів у дослідних варіантах свідчить, що стимулювальний ефект спостерігався за дії РБК й тіосульфатів, проте найкращі результати було зафіксовано за впливу композиції РБК + АТС: маса кореня, що є інтегральним показником росту, збільшилася на 37% порівняно з контролем, а при використанні композиції РБК + ЕТС — на 18,5% (рис.).

Отримані результати свідчать, що створені композиції РБК з тіосульфатами сприяють суттєвому зменшенню негативного впливу посухи на рослини як одного з основних абіотичних стресових чинників. При їх застосуванні підвищувались ростові показники пшениці озимої (довжина кореня і пагона) порівняно з контролем.

### Висновки

Встановлено ефективність застосування композицій поверхнево-активного рамноліпідного біокомплексу з тіосульфатами (1:1) за концентрації 0,01 г/л при передпосівному обробленні насіння для підвищення ростових показників

пшениці озимої в умовах посухи. Показано, що отримані композиції, зокрема РБК + АТС є ефективними регуляторами росту, що свідчить про перспективу використання як екологічно безпечних агробіопрепаратів для вирощування рослин у несприятливих умовах.

### **Література**

1. *Крупнов В.А.* Генетическая сложность и контекст-специфичность признаков урожая пшеницы в засушливых условиях / В. А. Крупнов // Вавиловский журнал генетики и селекции — 2013. — Т. 17, № 3. — С. 524—534.
2. *Гончарова А.І.* Вплив алелів генів короткостебловості на довжину колеоптиля пшениці м'якої в умовах осмотичного стресу / А.І. Гончарова, І.І. Моцний, С.В. Чеботар // Вісник ОНУ. Біологія. — 2016. — Т. 21, вип. 1(38). — С. 89—99.
3. *Pacwa-Płociniczak M., Plaza G.A., Piotrowska-Seget Z., Cameotra S.S.* Environmental applications of biosurfactants: recent advances / Int. J. Mol. Sci. — 2011. — V. 12. — P. 633—654.
4. *Karpenko O.V., Korecka N.I., Shheglova N.S., Karpenko I.V., Baranov V.I.* Gramineae plants growth stimulation by surface-active rhamnolipids. *Biotechnol. Acta.* 2013, 6 (6), 94—99. (In Ukrainian).
5. *Швець В.В.* Антимікробна активність композицій на основі тиосульфонатів і біогенних поверхнево-активних речовин щодо фітопатогенів / В.В. Швець, О.В. Карпенко, І.В. Карпенко, В.П. Новіков, В.І. Лубенець // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2017. — 3. — С. 89—94.
6. *Lubenets V., Vasylyuk S., Baranovych D., Komarovska-Porokhnyavec O., Rayevska K., Zaichenko O., Novikov V.* The plant protection remedies of thiosulfonate type. *Chem. Agricult. / Environ.* — 2007. — V. 8. — P. 163—167.
7. *Lubenec V.I.* Thiosulphonic acid derivatives : synthesis and properties. *Ukr. Khim. zh.* 2003, 69 (3), 109—117. (In Ukrainian).
8. *Karpenko O.V., Korecka N.I., Shheglova N.S., Karpenko I.V., Baranov V.I.* Gramineae plants growth stimulation by surface-active rhamnolipids. *Biotechnol. Acta.* 2013, 6 (6), 94—99. (In Ukrainian).
9. DSTU 4138-2002. Seeds crops. Methods for determining the quality Effective as. 2004-01-01. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 2003. — P. 173.

## CREATING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY POLYMER COATINGS FOR TEXTILE PACKAGING MATERIALS

T. Asauliyuk, O. Semeshko, Yu. Saribeykova  
*Kherson National Technical University*

---

**Key words:**

*Styrene-acrylic dispersion  
Polyurethane dispersion  
Cross-linking agent  
Polymer coatings  
Textile packaging  
Materials*

**ABSTRACT**

The influence of formaldehydeless cross-linking agents — triglycidyl esters — on physico-mechanical and chemical properties of polymer films based on aqueous dispersions of styrene-acrylic and polyurethane polymers was studied. It has been found that polymer compositions Lacrytex 640/Laproxide 703 and Aquapol 14/Laproxide TMP possess the best complex of properties. The characteristics of textile materials with formed coatings based on selected polymer compositions have been determined. It is shown that these polymer compositions allow obtaining elastic, waterproof and wear-resistant coatings required for textile packaging materials.

---

**Article history:**

Received 10.09.2017  
Received in revised form  
28.09.2017  
Accepted 13.10.2017

**Corresponding author:**

T. Asauliyuk

**E-mail:**

tatisevna@gmail.com

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-6

---

## СТВОРЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Т.С. Асаулюк, О.Я. Семешко, Ю.Г. Сарібекова  
*Херсонський національний технічний університет*

*У статті досліджено вплив безформальдегідних зшиваючих агентів — тригліцидилових етерів — на фізико-механічні і хімічні властивості полімерних плівок на основі водних дисперсій стирол-акрилового та поліуретанового полімерів. Встановлено, що найкращий комплекс властивостей мають полімерні композиції Lacrytex 640/Laproxide 703 і Aquapol 14/Laproxide TMP. Визначено характеристики текстильних матеріалів зі сформованими покриттями на основі обраних композицій полімерів. Показано, що дані полімерні композиції дають змогу отримати еластичні, водостійкі та зносостійкі покриття, необхідні для текстильних пакувальних матеріалів.*

**Ключові слова:** *стирол-акрилова дисперсія, поліуретанова дисперсія, зшиваючий агент, полімерні покриття, текстильні пакувальні матеріали.*

**Introduction.** Currently, there is a rapid growth in the consumption of packaging from combined film materials. Such packaging not only fulfills its functional purpose for preserving the quality of the packaged goods, but also contributes to its quick sale.

Combined film materials are divided into the following three groups: multilayer films composed only of polymers; multilayer films using aluminum foil or metallized; films on textiles, paper or cardboard [1].

In Ukraine, the market for combined film materials is virtually non-existent, and materials produced with a monopolymer coating (mainly PVC) do not meet modern requirements for product quality. Solving the problems of providing the Ukrainian market with packaging products of its own production is also exacerbated by an insufficient assortment of compositions for the formation of polymer coatings on the surface of packaging materials. In addition, one of the main drawbacks, significantly limiting the scope of packaging materials, is the presence of formaldehyde-containing preparations in film-forming formulations.

Therefore, studies aimed at developing new economically beneficial and environmentally friendly polymer coatings for textile packaging materials are relevant.

**Literature review.** During operation, the textile package undergoes mechanical and atmospheric influences, which makes it necessary to form a protective film on the fabric surface with applying of various high-molecular compounds. Polymer protective films must meet such requirements as non-toxicity, elasticity, mechanical strength, transparency, high adhesion to the fiber, reduced stickiness and, consequently, low dirt retention.

Due to the combination of valuable properties and compliance with modern environmental requirements, aqueous dispersions of polymers have an important practical value in the production technology of packaging textile materials [2]. Due to the presence of hydrophilic groups in the molecular chain of the polymer, films based on aqueous dispersions are characterized by lower strength and resistance to water as compared to polymer films based on organic solvents. In this regard, cross-linking agents are introduced into the composition of the polymer compositions.

Traditional cross-linking agents are dangerous because of their toxicity, since they release volatile substances, such as formaldehyde, during the curing and use of products. An alternative is the use of multifunctional epoxy resins such as glycidyl esters, which are commercially available and well known for its properties, including high mechanical strength, heat resistance, etc. [3—5].

Glycidyl esters are multifunctional epoxy resins, when interacting with acrylic polymer, the reaction occurs with carboxyl and hydroxyl groups to form ester bonds, and in interaction with polyurethane polymers, the crosslinking reaction is based on the interaction of epoxy groups with hydroxyl and secondary amino groups [3].

The formation of the three-dimensional polymer structure of the matrix inhibits the hydrolysis of ester bonds in the case of epoxides, resulting in safe and resistant to external factors polymer systems.

Thus, the most promising way to develop a polymer coating composition for textile packaging materials is to use polymer components based on aqueous dispersions of polymers and glycidyl esters as formaldehydeless cross-linking agents.

**The goal of the study.** The goal of present work was to study the effect of glycidyl esters on the physico-mechanical and chemical properties of polymer films formed from aqueous dispersions, as well as the assessing the possibility of using the resulting polymer compositions to create coatings on textile packaging materials.

**Results of the study.** The following aqueous dispersions were used as the object of the study:

- Lacrytex 640 — aqueous dispersion of the acrylic copolymer modified by the addition of an adhesion promoter (dry residue — 55—57%, pH = 2—3, particle size  $\approx 0.2 \mu\text{m}$ , viscosity at 25° C — not less than 5000 mPa·s);

- Aquapol 14 – aqueous dispersion of aliphatic polyurethane (dry residue — 35%, pH = 7.36, particle size  $\approx 0.1 \mu\text{m}$ , viscosity at 25° C — 20.1 mPa·s).

Triglycidyl esters were used as cross-linking agents (NPC Macromer Ltd., Vladimir), the characteristics of which are given in Table. 1.

*Table 1. Characteristics of cross-linking agents*

Name	Chemical composition	Mass fraction of epoxy groups, %	Viscosity at 25° C, mPa·s
Laproxide 703	Triglycidyl ester of polyoxypropylenetriol	13.5—16.5	90—160
Laproxide 603	Triglycidyl ester of polyoxypropylenetriol	16.5—19.5	80—150
Laproxide TMP	Triglycidyl ester of trimethylolpropane	27.0—31.0	150—250

The effectiveness of the cross-linking action of the test esters was evaluated by the number of acetone-insoluble fractions of the formed polymer films. An analysis of the results shows that the individual polymer films formed from Lacrytex 640 are soluble in acetone and are not able to provide the necessary parameters for the quality of the polymer coating. It was found that the film formed only from the polyurethane dispersion Aquapol 14 has a limited resistance to the action of solvents.

In this connection, the effect of the concentration of the cross-linking agents on the cross-linking of styrene-acrylic and polyurethane polymers was studied.

The results of the experiment showed that in order to stabilize the Lacrytex 640 film, the optimum amount of Laproxide TMP cross-linking agent is in the range of 6—10%, which provides a sufficiently high curing degree of 54—84%. When to styrene-acrylic polymer Laproxides grades 603 and 703 are added at a concentration of 2%, the degree of curing is 78—79%, and when the concentration of cross-linking agents is increased to 10% — reaches a maximum value of 97—99%.

It has been found that for the modification of the polyurethane dispersion Aquapol 14, the optimal concentration of cross-linking agents Laproxide TMP, 703 and 603 is 4—6%, with a curing degree of 75—80%.

At the next stage of work, the influence of cross-linking agents on the physical and mechanical properties of polymer films was determined.

The conventional strength of polymer film samples and the elongation at break were determined in accordance with GOST 14236-81. The hardness of the polymer

coating was determined using a König pendulum. The method is based on the principle that the amplitude of oscillations of the pendulum touching the surface of the coating decreases the faster, the softer this surface. In the course of the study, the duration of the pendulum oscillations was determined with a decrease in the amplitude from 6° to 3°. Determination of the stickiness of polymer films was carried out by the method of FINAT (Test Method Number 9). The essence of the technique consists in lowering the loop from the polymer to a rigid plate of a known area and measuring the force necessary to detach the loop from the substrate.

The results of the study of the physical-mechanical properties of individual styrene-acrylic and polyurethane polymers and their compositions with cross-linking agents are given in Table 2.

*Table 2. Physical-mechanical properties of polymer films*

Composition	Conditional tensile strength $\sigma$ , MPa	Elongation at break $\epsilon$ , %	König hardness Kö, c	Stickiness, kPa
styrene-acrylic polymer				
Lacrytex 640	6	800	—	20
Lacrytex 640/ Laproxide 603	3-5	>1000	—	24
Lacrytex 640/ Laproxide TMP	6	670	—	20
Lacrytex 640/ Laproxide 703	6	640	5	—
polyurethane polymer				
Aquapol 14	11	340	55	—
Aquapol 14/ Laproxide 603	12	240	74	—
Aquapol 14/ Laproxide TMP	12	200	80	—
Aquapol 14/ Laproxide 703	12	180	91	—

The obtained results testify to the different influence of cross-linking agents on the change in the properties of the Lacrytex 640 film. The individual styrene-acrylic polymer has a tackiness of 20 kPa, strength and elongation at break of which corresponds to 6 kPa and 800% respectively. Introduction Laproxide TMP reduces elongation at break up to 670%, without affecting other physical-mechanical parameters of the initial polymer. The use of the cross-linking agent Laproxide 603 results in a slight increase in the stickiness of the composites, an increase in tensile strength at breaks greater than 1000%, and a reduction in strength to 4 kPa. The use of Laproxide 703 eliminates the stickiness of the resulting Lacrytex 640-based composite, and the sample hardness is 5 s. There is a decrease in elongation at break up to 640%, while the tensile strength is unchanged.

The properties of composite films obtained from Aquapol 14 also depend on the type of cross-linking agent used. Laproxide 703, Laproxide 603, Laproxide TMP help to reduce the elongation at break of films based on Aquapol 14 by a factor of 2. While the use of Laproxide 703 leads to an increase in the hardness of the

polymer compositions to 91 s, and when a similar concentration of Laproxide TMP and Laproxide 603 are introduced, the hardness is increased to 80 s.

Long term effective use of polymer coating is the most important task for polymer modification. Under the influence of sunlight, high temperature, water, oxygen of air in polymer coatings, decay processes begin to proceed quickly, and the products of destruction accumulate. To one of the most common types of chemical destruction of polymers is hydrolysis, which affects the index of resistance of coatings to wet treatments. The tendency to hydrolysis is determined by the nature of the functional groups and bonds in the polymer. In the hydrolysis of the side functional groups, the chemical composition of the polymer changes; when the bonds that form part of the main molecular chain hydrolyze, the molecular weight of the polymer decreases.

Since packaging textile materials with polymer coatings are exposed to moisture during operation, the stability of individual films and polymer compositions with cross-linking agents to hydrolytic degradation at different temperatures was studied at the next stage of the work (Table 3).

*Table 3. Effect of aqueous treatments on the hydrolytic stability of polymers*

Composition	Hydrolytic stability, %		
	20° C	40° C	100° C
styrene-acrylic polymer			
Lacrytex 640	92	89	85
Lacrytex 640/ Laproxide 603	100	100	98
Lacrytex 640/ Laproxide TMP	98	97	96
Lacrytex 640/ Laproxide 703	100	100	98
polyurethane polymer			
Aquapol 14	98	98	93
Aquapol 14/ Laproxide 603	100	100	99
Aquapol 14/ Laproxide TMP	100	100	99
Aquapol 14/ Laproxide 703	100	100	99

According to the data obtained (Table 3), which characterizes the process of dissolution of polymer films, it can be seen that practically all the samples undergo various degrees of hydrolytic destruction.

Investigation of the hydrolytic stability of Lacrytex 640 films showed a decrease in the sample mass by 8—15%, depending on the hydrolytic degradation temperature used. However, the introduction of Laproxide 603 and Laproxide 703 results in complete stability of the composite films at 20° C and 40° C, and at 100° C the sample weight is reduced by 2%.

Individual film Aquapol 14 (Table 3) has a high resistance to water treatment, which is 98% at 20° C and 40° C and 93% at 100° C. The introduction of all cross-linking agents into the polymer composition makes it possible to increase the hydrolytic stability of the films to 100% at 20° C and 40° C, and also to increase resistance to water degradation at 100° C by 6%.

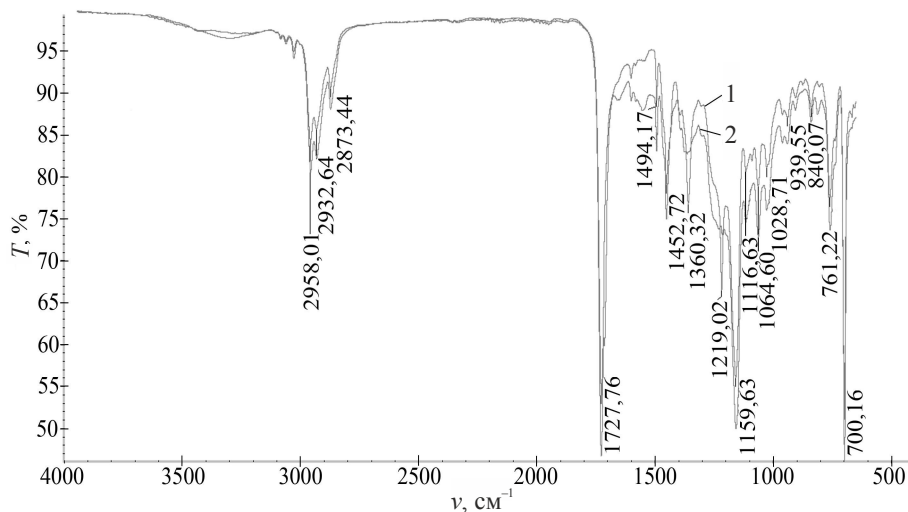
Based on the results of the studies, the optimal compositions based on the polymer compositions of Lacrytex 640/Laproxide 703 and Aquapol 14/Laproxide TMP were selected to form coatings on textile packaging materials.



In order to study the nature of the effect of cross-linking agents on the chemical structure of selected polymers, the IR-spectra of individual films and their compositions with cross-linking agents were studied.

The IR-spectra of the polymers were obtained using a Nicolet-iS10 FTIR spectrometer (Thermo Fisher Scientific, USA) using a DTGS detector, a KBr beam splitter and a Smart Performer attachment equipped with a ZnSe crystal. The measurement was carried out at a resolution of  $4\text{ cm}^{-1}$ ; zone of the spectrum  $4000\text{—}650\text{ cm}^{-1}$ . The spectra were processed using OMNIC-7.0.

The IR-spectra of the individual Lacrytex 640 film and the Lacrytex 640/Laproxide 703 composition are shown in Fig. 1.



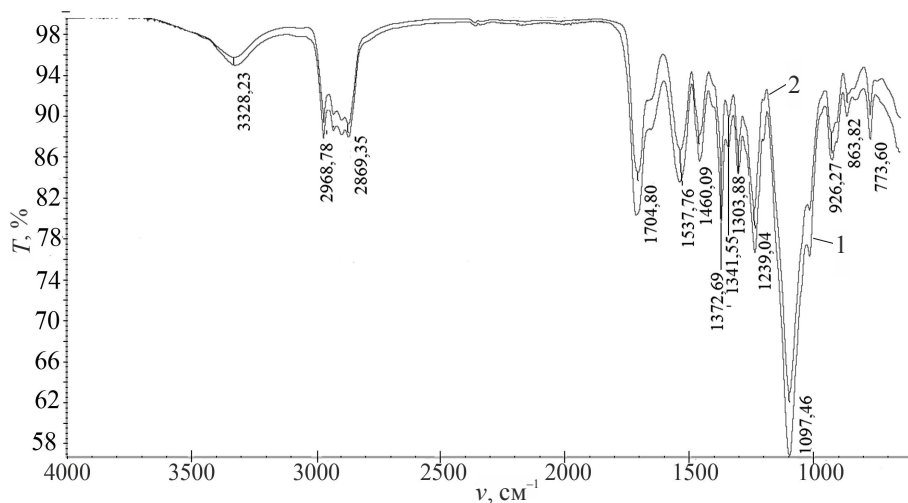
**Fig. 1. IR-spectra of styrene-acrylic polymer films:**  
1 — Lacrytex 640; 2 — Lacrytex 640/Laproxide 703 composition

The change in the form of bands of valent vibrations indicates structural and conformational changes resulting from the introduction of the Laproxide 703 cross-linking agent into the matrix of styrene-acrylic polymer Lacrytex 640. The absence of characteristic intense peaks for Lacrytex 640 at  $1219\text{ cm}^{-1}$  (C—O—H) and  $1360\text{ cm}^{-1}$  (C—CH<sub>3</sub>), as well as a shift in the vibrations of the carboxyl group —C=O from  $1715$  to  $1727\text{ cm}^{-1}$  indicates the formation of cross-links between the hydroxyl and carboxyl groups of the styrene-acrylic polymer and the epoxy groups of the cross-linking agent [6].

The IR-spectra of the individual Aquapol 14 film and the Aquapol 14/Laproxide TMP composition are shown in Fig. 2.

The introduction of the cross-linking agent Laproxide TMP into the polyurethane dispersion Aquapol 14 leads to an increase in the relative intensity of the =C=O group band at  $1700\text{ cm}^{-1}$ , the vibrations of the =NH band at  $3320\text{ cm}^{-1}$ , —CN and =NH groups at  $1540\text{ cm}^{-1}$ . The increase in the relative intensity of vibration  $\equiv\text{C—H}$  at  $2969\text{ cm}^{-1}$  is also noticeable. In addition, the IR-spectrum shows characteristic vibrations of  $\equiv\text{C—O—C}\equiv$  bands of polyglycol at  $1236$  and  $1097\text{ cm}^{-1}$ .

The shift in the peaks of the carboxyl group  $=C=O$  indicates the formation of hydrogen bonds with the epoxy groups of the cross-linking agent, which contributes to an increase in the degree of cross-linking of the polymer.



**Fig. 2. IR-spectra of polyurethane polymer films:**  
1 — Aquapol 14; 2 — Aquapol 14/Laproxide TMP composition

At the next stage of the work, the influence of the formed polymer coating on the properties of the textile material was studied. The formation of the polymer coating on the textile material was carried out by the method of directly applying these polymer compositions to the cotton fabric, followed by forming the polymer film during the drying process.

- To characterize textile materials with a polymer coating, were considered:
- mechanical properties of the material (rigidity for bending);
  - physical properties of the material (water resistance and air permeability);
  - wear resistance of a polymer coating during abrasion.

Determination of the rigidity for bending of a textile material with a formed polymer coating was performed using a cantilever contactless method in accordance with GOST 10550–93. The air permeability was determined according to GOST 12088–77. The water resistance was determined on a penetrometer under normal climatic conditions in accordance with GOST 3816–81.

The characteristics of a textile material with formed polymer coatings are presented in Table 4.

*Table 4. Characteristics of a textile material with a formed polymer coating*

Composition	Rigidity, $\mu\text{N}\cdot\text{cm}^2$		Air permeability, $\text{dm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	Water resistance		Wear resistance, cycles
	warp	weft		Pa	mm wg	
Without coating	280	85,5	277,7	637,8	65	1400
Lacrytex 640/ Laproxide 703	356,7	161,5	23,6	7651,8	780	63000
Aquapol 14/ Laproxide TMP	373,4	170,5	20,2	>9810	>1000	64000

According to the data given in Table 4, a textile materials with composition of Lacrytex 640/Laproxide 703 and Aquapol 14/Laproxide TMP are characterized by sufficient elasticity and air permeability, high water resistance and wear resistance.

### Conclusions

The analysis of physical-mechanical and chemical characteristics of polymer films based on aqueous dispersions of styrene-acrylic and polyurethane polymers and their compositions with triglycidyl esters as formaldehydeless cross-linking agents is carried out. It has been found that the use of the polymer compositions of Lacrytex 640/Laproxide 703 and Aquapol 14/Laproxide TMP provides an elastic, durable and resistance coating. These polymeric compositions can be used as polymer matrices to immobilize additives with different applications on the surface of a textile packaging materials.

### References

1. Packaging Materials [Text] / SendPoints. — United States: Gingko Press, Inc., 2014. — 272 p.
2. Wicks Z.W. Organic Coatings: Science and Technology [Text] / Z.W. Wicks, F.N. Jones, S.P. Pappas, D.A. Wicks // New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007. — 746 p.
3. Tillet G. Chemical reactions of polymer crosslinking and post-crosslinking at room and medium temperature [Text] / G. Tille // Progress in Polymer Science. — 2011. — Volume 36. — P. 191—217.
4. Wen X. Crosslinked polyurethane-epoxy hybrid emulsion with core-shell structure [Text] / X. Wen // Journal of Coatings Technology and Research. — 2010. — Vol. 7, Issue 3. — P. 373—381.
5. Slepchuk I. Research of influence of cross-linking agents on characteristics of spatial grid and properties of urethane polymer [Text] / I. Slepchuk, O.Ya. Semeshko, Yu.G. Saribekova, I.N. Kulish, I.V. Gorokhov // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. — 2016. — Vol. 59, Issue 7. — P. 86—91.
6. Cherdoud-Chihani A. Study of Crosslinking Acid Copolymer [Text] / A. Cherdoud-Chihani, M. Mouzali, M.J.M. Abadie // J. Appl. Polym. Sci. — 2003. — Vol. 87, Issue 13. — P. 2033—2051.

## OBTAINING ARABINO GALACTAN FROM THE DOMESTIC-PRODUCED RAW MATERIAL AND ITS CHARACTERISTICS

N. Cherny, L. Gural, O. Antipina

*Odessa National Academy of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Polysaccharides  
Arabinogalactan  
Pine wood of *Pinus  
sylvestris*  
Method for obtaining  
arabinogalactan*

---

**Article history:**

Received 18.09.2017  
Received in revised form  
01.10.2017  
Accepted 16.10.2017

---

**Corresponding author:**

N. Cherny

**E-mail:**

npuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article presents the results of the initial phase of the study related to creation of nanocomposite physiologically functional ingredients using arabinogalactan as a complexing agent. It is shown that the prospective source of raw material for obtaining arabinogalactan in Ukraine is *Pinus silvestris* wood from Volyn Region. It has been established that wood should be treated with a multienzyme preparation (0.5% solution in acetate buffer, pH 4.7, temperature 50° C, duration 4 hours, ratio of solid and liquid phases 1:7) to obtain arabinogalactan. After inactivation of the enzyme, arabinogalactan is precipitated from the solution with ethanol and cool dehumidified. The polysaccharide preparation contains carbohydrates and up to 0.3% phenolic compounds. In the hydrolyzate of the polysaccharide part, galactose and arabinose are in a molar ratio of 3.0:1.0; small amounts of glucuronic acid are also present. The UV and IR spectra of the arabinogalactan being studied are similar to those of polysaccharides of this category from other sources. The mean molecular weight of the preparation according to gel chromatography on Sephadex is 60—65 kDa. Further study of this polysaccharide structure, the conditions for supramolecular complex formation with other biologically active compounds based on it, determining the prospects for their application as physiologically functional food ingredients seem to be reasonable.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-7

---

## ОТРИМАННЯ АРАБІНОГАЛАКТАНУ З ВІТЧИЗНЯНОЇ СИРОВИНИ ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКА

Н.К. Черно, Л.С. Гураль, О.О. Антіпіна

*Одеська національна академія харчових технологій*

*У статті висвітлено результати початкового етапу дослідження, присвяченого створенню нанокмпозитних фізіологічно функціональних інгредієнтів із застосуванням арабіногалактану як комплексоутворювача. Показано, що перспективним сировинним джерелом вилучення арабіногалактану в Україні*

є деревина сосни *Pinus silvestris* з Волинської області. Встановлено, що для отримання арабіногалактану доцільно здійснювати обробку деревини мацеровальним мультиферментним препаратом целовіридином (0,5-процентний розчин в ацетатному буфері, рН 4,7, температура 50° С, тривалість 4 год, гідромодуль 7). Із розчину після інактивації ферменту арабіногалактан осаджують етанолом і ліофільно висушують. Полісахаридний препарат поряд з вуглеводною складовою містить до 0,3% фенольних сполук. У гідролізаті полісахаридної компоненти галактоза й арабіноза знаходяться у молярному співвідношенні 3,0:1,0, у мінорній кількості наявна глюкуронова кислота. УФ- та ІЧ-спектри досліджуваного арабіногалактану аналогічні таким полісахаридом даної категорії, вилучених з інших джерел. Середня молекулярна маса препарату за даними гель-хроматографії на сефадексі складає 60—65 кДа. Доцільне подальше вивчення тонкої структури цього полісахариду, умов утворення супрамолекулярних комплексів з іншими біологічно активними сполуками на його основі та визначення перспектив їхнього використання як фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів.

**Ключові слова:** полісахариди, арабіногалактан, деревина сосни *Pinus sylvestris*, спосіб одержання арабіногалактану.

**Постановка проблеми.** В останні роки визначилась перспектива створення і використання наноструктурованих комплексів біологічно активних речовин та лікарських засобів, які забезпечують адресну доставку до органу-мішені фізіологічно активної субстанції. Переваги таких включених у комплекси субстанцій — це зниження ефективної дози у 1—150 разів та суттєве зменшення, а іноді й повне зникнення побічних ефектів. Клатрування цих субстанцій можливе шляхом включення їх у комплекси з полісахаридами. Ефективним комплексоутворювачем серед останніх є арабіногалактан, що визначає доцільність пошуку перспективних сировинних джерел цього полісахариду в Україні та розвитку наукових досліджень щодо його використання як біологічно активного харчового засобу для транспорту речовин, необхідних для корекції стану здоров'я людини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Арабіногалактан — широко розповсюджений у рослинному світі гетерополісахарид. Його знаходять у хвойній і в листяній деревині, зернових, овочах і фруктах [1—4]. Арабіногалактан входить до складу ексудатів ряду рослин, зокрема він є основним компонентом полісахарид-білкового комплексу гуміарабіку й трагакантової камеді [2; 3]. Це вискорозгалужений водорозчинний полісахарид [2; 3]. Природа, число, ступінь розгалуження, моносахаридний склад, конфігурація глікозидних зв'язків, молекулярна маса макромолекул арабіногалактану варіюються залежно від виду сировини та в межах одного виду [3; 4]. Арабіногалактан сприяє стабілізації клітинної стінки, поєднуючи ксилоглюканові макромолекули з рамногалактуронатом, завдяки чому утворюється єдиний полісахаридний матрикс [1].

За типом глікозидного зв'язку арабіногалактани поділяють на арабіно-4-галактани, арабіно-3,6-галактани та арабіно-6,3-галактани.

У молекулах арабіно-4-галактанів головний ланцюг побудований із залишків D-галактопіраноз, з'єднаних між собою  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-глікозидними зв'язками, а в положеннях O-3  $\beta$ -глікозидними зв'язками до кору приєднані бічні ланцюги, представлені залишками L-арабінофураноз. Арабіно-4-галактани наявні в одно- і дводольних рослинах. Зокрема, в однодольних: злакових — в оболонках зерна кукурудзи, італійському райграсі, сорго; у дводольних: томатах, цитрусових, яблуках, шкірці червоного винограду, коренеплодах моркви, лушпинні соняшника [2—6].

Арабіно-3,6-галактани є найбільш розповсюдженими. На відміну від арабіно-4-галактанів, вони мають високорозгалужену структуру, а головний ланцюг їхніх макромолекул побудовано із залишків  $\beta$ -D-галактопіраноз, сполучених  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-глікозидними зв'язками. До галактанового кору в положенні O-6 приєднані бічні ланцюги у вигляді поодиноких залишків галактопіраноз, або більш довгі відгалуження, у яких до залишків D-галактопіраноз (1 $\rightarrow$ 3) і/або (1 $\rightarrow$ 5)-зв'язками приєднуються залишки  $\alpha$ -L-арабінофураноз. Галактановий кор має відкриту спіральну структуру, а бічні ланцюги — незвивисту лінійну. Арабіно-3,6-галактани знаходяться як у твердих (модрині *Larix*, сосні *Pinus L.*, ялиці *Abies*), так і в м'яких видах хвойної деревини (ялині *Picea Dietrich*, кедрі *Cedrus Trew*) [1—3; 7; 8]. Вони наявні також у листяних породах: у цукровому клені *Acer saccharum Marsh*, осиці *Populus tremula L*, платані *Platanus L.* [1—3]. Найбільш досліджений арабіногалактан деревини модрини [7—9]. Залежно від виду модрини його вміст може сягати 15—35%, а молекулярна маса знаходиться в межах 3—100 кДа. Співвідношення галактозних і арабінозних фрагментів варіює від 2,33 : 1,00 до 6,99:1,00.

Арабіно-6,3-галактани найменше розповсюджені в рослинному світі. Вони містяться як у твердих (сосні чорній *Pinus Banksiana*, сосні Жефрея *Pinus Jeffrey Balf.* і сосні *Pinus Radiate Don.*), так і в м'яких видах хвойної деревини (ялині білій *Picea glauca* та чорній *Picea mariana*) [1; 2]. Арабіно-6,3-галактани, як і арабіно-3,6-галактани, мають високорозгалужену структуру, але різняться за будовою. Їхній головний ланцюг побудований не з (1 $\rightarrow$ 3), а з (1 $\rightarrow$ 6)-зв'язаних залишків D-галактопіраноз. У положенні O-3 до деяких залишків галактопіраноз приєднані інші (1 $\rightarrow$ 6)-зв'язані ланцюги D-галактопіраноз; деякі з них закінчуються залишками L-арабінофураноз. Одночасно наявні (1 $\rightarrow$ 4)-зв'язки [1; 2].

Арабіногалактани, що входять до складу камедей (гуміарабіку, трагакантової камеді, камеді вишні), мають дещо іншу структуру порівняно з іншими видами. Арабіногалактан трагакантової камеді, окрім залишків D-галактози й L-арабінози, містить невелику кількість залишків L-рамнози й D-галактуронової кислоти. Основний ланцюг цього полісахариду побудований із залишків галактопіраноз, які поєднуються в основному  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 6) зв'язками й невеликою кількістю  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-зв'язків. Сильно розгалужена частина макромолекули включає залишки арабінофураноз зі зв'язками 1 $\rightarrow$ 2, 1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 5 [10].

Існує декілька версій щодо причин, які зумовлюють здатність арабіногалактану слугувати адресним носієм для доставки біологічно активних речовин — ферментів, нуклеїнових кислот, вітамінів, гормонів тощо [3; 11; 12]. Так, наприклад, вважають що між агентом, який доставляється до гепатоцитів

(паренхімних клітин печінки), і арабіногалактаном, утворюється комплекс, який реагує з асіалоглікопротеїновим рецептором клітин [13]. Взаємодія арабіногалактану з цими рецепторами може бути зумовлена високорозгалуженою структурою полісахариду і наявністю в його молекулі численних кінцевих галактозних і арабінозних груп [3]. Завдяки цьому його можна використовувати для підвищення всмоктування інших речовин, що характеризуються низькою біодоступністю [3; 12; 13].

Крім того, арабіногалактан має широкий спектр фізіологічно функціональних ефектів: уповільнює процеси пероксидного окиснення ліпідів, має антимікробну дію щодо деяких бактерій [3]. Як імуномодулятор він впливає на фагоцитарні процеси — активує хемотаксис, адгезію, поглинальну і бактеріцидну здатність макрофагів [3; 14]. Важливий вклад у його фізіологічну активність вносять бічні ланцюги, на яких локалізуються імунодетермінантні групи, що обумовлюють імунологічну специфічність усєї молекули [14].

Арабіногалактан нерозчинний у слабкополярних органічних розчинниках — ацетоні, етанолі, метанолі. Осадженню полісахариду сприяють неорганічні солі, які зменшують гідратацію молекули [1; 3].

Арабіногалактан має високу диспергувальну здатність. Йому притаманна низька в'язкість концентрованих водних розчинів. Його 50-процентний розчин — це в'язка опалесцююча система. Він стійкий у кислому середовищі й при температурній обробці. При тривалому нагріванні при 105° С властивості полісахариду не змінюються. Підвищення температури до 150° С призводить до втрати маси, збільшується середній ступінь полімеризації і зростає кількість високомолекулярних фракцій. Гідролітична стійкість арабіногалактану у водних розчинах залежить від рН середовища й температури. При рН 1,3 його гідроліз відбувається з помітною швидкістю вже при 75° С, при 100° С гідроліз практично завершується через 4 год. У менш кислому середовищі (рН 3,8 і 4,5) початок гідролізу арабіногалактану відзначається при 150° С, при 180° С він повністю гідролізується впродовж 1,5—2,0 год [3].

Хімічні властивості арабіногалактану обумовлені наявністю глікозидного зв'язку й вільних ОН-груп. Перший здатний до гідролізу, останні — до взаємодії з низкою реагентів, що зумовлює можливість отримання похідних цього полісахариду [1; 3].

Фізико-хімічні та біологічні властивості арабіногалактану багато в чому визначили сфери його застосування в харчовій промисловості. Він широко використовується як загусник і стабілізатор. Це пов'язано з його розчинністю в холодній воді і низькою в'язкістю його концентрованих розчинів, здатністю зв'язувати жири й утримувати вологу [3; 15]. Арабіногалактан також використовують як компонент дієтичних добавок і фізіологічно-функціональний інгредієнт продуктів оздоровчого і лікувального харчування [3; 16].

На світовому ринку виробництво арабіногалактану з модрини різних видів постійно зростає. 97,81% світового виробництва цього полісахариду зосереджено в США; європейські країни посідають друге місце, де частка світового виробництва арабіногалактану становить 1,94%. У промислових масштабах арабіногалактан виробляють також у Швейцарії (м. Базель), Росії (м. Благовіщенськ), Китаї (Цзилінська лісова індустрія) [17].

Незважаючи на різноманітність цінних властивостей арабіногалактану, у нашій країні його промислового виробництва не існує. Відповідно, немає виробництва дієтичних добавок і лікарських засобів із його включенням. Це обумовлює актуальність розроблення вітчизняних препаратів арабіногалактану та його наноструктурованих клатратів з іншими біологічно активними речовинами як фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів.

В Україні потенційним промисловим джерелом арабіногалактану можуть бути деревинні побічні продукти деревообробної промисловості сосни звичайної *Pinus sylvestris*, яка є основною лісоутворювальною породою (займає 76,7% хвойних насаджень лісів) [18]. Одним із напрямів досліджень, що розвиваються в Одеській національній академії харчових технологій у галузі хімії і біотехнології полісахаридів, є розроблення технологій нанокомпозитних біологічно активних речовин з використанням арабіногалактану як комплексоутворювача для їхньої адресної доставки до органу-мішені, тому **метою статті** є обґрунтування вибору джерела вилучення арабіногалактану та його загальна характеристика на початковому етапі.

**Матеріали і методи.** У дослідженнях використовували побічні продукти переробки сосни з різних областей України (Волинської, Сумської, Херсонської, Одеської). Арабіногалактан із тирси сосни вилучали паралельно двома способами: водною екстракцією (стандартний спосіб) та екстракцією із застосуванням мацерувальних ферментних препаратів (ферментативний спосіб). Відповідно до стандартного способу сировину трикратно обробляли водою (масове співвідношення сировина:вода — 1:7) за температури 90° С впродовж 2 год, після чого екстракт концентрували під вакуумом, полісахарид осаджували етанолом та ліофільно висушували [7; 8; 14]. Ферментативний спосіб передбачав оброблення тирси сосни розчинами ферментних препаратів целюлолітичної й геміцелюлолітичної дії, які забезпечують руйнування зв'язків між полісахаридами, лігніном і вуглеводами рослинної тканини, а також деструкцію окремих структурних полісахаридів (целюлози, геміцелюлоз), з якими сполучений арабіногалактан [19]: 0,1—1,0-процентні розчини целовіридину Г20х, целокандину Г10х, целоконінгіну П10х, целолігнорину П10х в ацетатному буфері рН 4,7 температура процесу ферментолізу 50° С, тривалість 1—8 год, гідромодуль 5—10. Фермент інактивували кип'ятінням, реакційну суміш центрифугували, рідку фазу концентрували, полісахарид осаджували етанолом та ліофільно сушили.

В отриманих зразках визначали масову частку полісахариду за редукуючою здатністю розчинів [20] після гідролізу 2-процентним розчином хлоридної кислоти [1; 20], фенольних сполук — з реактивом Фоліна [21]. Моносахаридний склад гідролізатів встановлювали методом ВЕРХ [22]. Розчинність у воді визначали за різницею у масах вихідної наважки арабіногалактану і залишку після відокремлення рідкої фази в результаті обробки полісахариду за таких умов: 100 см<sup>3</sup> води, температура 18—22° С і 90—100° С, маса арабіногалактану 10—50 г, термін обробки 15 хв [14]. Питоме обертання 2-процентних водних розчинів арабіногалактану визначали методом поляриметрії за температури 20—22° С [23]. УФ-спектри 0,1-процентних водних розчинів досліджуваних продуктів отримували в інтервалі від 200 до 600 нм на спектрофотометрі СФ-26 [14]. Реєстрацію ІЧ-спектрів препаратів у таблетках



із КВг здійснювали на ІЧ-Фур'є спектрометрі Frontier у діапазоні частот 4000—400 см<sup>-1</sup> [14, 24]. Молекулярну масу арабіногалактанів у 1,0 М розчині NaCl визначали методом гель-хроматографії в скляній колонці (600 · 24 мм) на Sephadex S-75 Superfine, відкаліброваної за допомогою блакитних декстринів [14]. Елюати (по 2 см<sup>3</sup>) аналізували на вміст вуглеводів антроновим методом [25].

**Результати і обговорення.** При застосуванні стандартного способу вихід арабіногалактану з деревини сосен Сумської, Херсонської та Одеської областей становив 68,7%, 57,5% і 50,6% відповідно від теоретично можливого. Останній розраховували на основі даних з моносахаридного складу геміцелюлоз, припускаючи, що наявність у них залишків галактози й арабінози обумовлена наявністю саме арабіногалактану. З найбільшим виходом арабіногалактану було отримано з деревини, що росте на Волині, — 64,9% від теоретично можливого. Тому у подальших дослідженнях використовували саме цю сировину.

Ферментативний спосіб вилучення застосовували з метою руйнації зв'язків арабіногалактану з іншими біополімерами, що мало сприяти збільшенню ступеня його екстрагування і, відповідно, — виходу цільового продукту. Процес екстракції вели за оптимальних умов дії мацерувальних ферментів. При мінімальному співвідношенні сировина:екстрагент (1:5) відбувалося лише змочування сировини розчином ферменту, що в подальшому ускладнювало відділення рідкої фази та вилучення цільового полісахариду. При збільшенні гідромодулю до 7 вихід продукту підвищувався і практично не змінювався при подальшому зростанні цього показника. Однократна ферментативна обробка порівняно із стандартною сприяла збільшенню виходу арабіногалактану з сировини на 20—30%. Максимально можливий вихід арабіногалактану при обробці деревини мав місце при застосуванні 0,50-процентних розчинів целовіридину або целокандіну, чи целоконігін у впродовж 4 год і 0,75-процентного розчину целолігнорину впродовж 6 год (гідромодуль 7). Подовження тривалості процесу ферментолізу тирси сосни не було доцільним, оскільки майже не впливало на збільшення виходу полісахариду. Найбільш ефективним для попередньої обробки сировини був ферментний препарат целовіридин, який на відміну від інших ферментів забезпечив збільшення виходу арабіногалактану на 5—9%.

Порівняльну характеристику компонентного та моносахаридного складу зразків арабіногалактану, одержаних стандартним і ферментативним методами, наведено в табл. 1 і 2.

*Таблиця 1. Характеристика компонентного і моносахаридного складу зразків арабіногалактану деревини *Pinus silvestris*, отриманих стандартним методом*

Деревина сосни <i>Pinus silvestris</i>	Масова частка, %		Моносахаридний склад, молярні співвідношення			
	полісахариду	фенольних сполук	<i>Gal</i>	<i>Ara</i>	<i>Xyl</i>	<i>GlcA</i>
Волинська обл.	97,40	0,21	10,00	5,88	—	0,35
Сумська обл.	97,10	0,19	10,00	4,70	—	0,12
Херсонська обл.	97,00	0,27	10,00	3,53	0,59	0,18
Одеська обл.	97,10	0,15	10,00	1,47	0,59	0,12

Таблиця 2. Характеристика компонентного і моносахаридного складу зразків арабіногалактану деревини *Pinus silvestris* з Волинської обл., отриманих ферментативним методом

Ферментативна обробка тирси сосни	Масова частка, %		Моносахаридний склад, молярні співвідношення		
	полісахариду	фенольних сполук	<i>Gal</i>	<i>Ara</i>	<i>GlcA</i>
Целовіридин Г20х	97,80	0,21	10,00	3,33	0,20
Целокандин Г10х	97,50	0,21	10,00	4,45	0,28
Целолігнорин П10х	97,40	0,21	10,00	3,89	0,33
Целоконінгін П10х	97,60	0,21	10,00	3,05	0,17

Як свідчать результати експериментальних даних, усі досліджувані продукти на 97,0—97,8% представлені полісахаридною складовою та містять незначну кількість фенольних сполук (не більше 0,27%).

У складі гідролізатів арабіногалактанів із різних зразків сосни, отриманих стандартним методом (табл. 1), на 10 молекул галактози припадає від 1,47 до 5,88 молекул арабінози. Крім того, у гідролізатах усіх зразків наявна глюкуронова кислота. В арабіногалактанах сосни з Херсонської й Одеської областей, на відміну від таких сосни Волинської та Сумської областей, наявні залишки ксилози.

В арабіногалактанах, отриманих ферментативним способом з деревини сосни Волинського регіону, наявні залишки галактози й арабінози у співвідношеннях 10,00:3,05—4,45, у слідових кількостях містяться залишки глюкуронової кислоти. Разом з тим застосування ферментів приводить до перерозподілу моносахаридних залишків у полісахариді, а саме: до збільшення в ньому частки залишків галактози. Так, у разі застосування целовіридину отримано арабіногалактан, у якому кількість залишків галактози утричі переважає кількість залишків арабінози.

Усі отримані продукти повністю розчиняються як у холодній, так і в гарячій воді, обертають площину лінійного поляризованого світла праворуч, а величина питомого обертання  $[\alpha]_{20}^D$  знаходиться в межах 10—15°, що узгоджується з літературними даними для арабіногалактанів модрини західної та сибірської [23].

В УФ-спектрі отриманого арабіногалактану наявні два максимуми поглинання в області 200—290 нм (200—203 і 285—290 нм), плече при 230 нм. Смуги поглинання в області 200—203 (інтенсивний максимум) і 285—290 нм (менш інтенсивний максимум) свідчать про наявність у досліджуваних зразках супутніх речовин фенольної природи, зокрема дигідрокверцетину та лігніну [7; 8; 14]. У цілому спектр є аналогічним відповідним спектрам арабіногалактанів деревинного походження [14].

У ІЧ-спектрах отриманих арабіногалактанів наявна інтенсивна смуга поглинання з максимумом у межах 3417—3398  $\text{cm}^{-1}$ , обумовлена валентним коливанням ОН-груп, також ідентифіковані смуги поглинання з максимумами, характерними для валентних коливань аліфатичних  $\text{CH}_2$ -груп (2923—2854  $\text{cm}^{-1}$ ), спряженої системи  $\text{-C=C-}$  зв'язків (1735—1647  $\text{cm}^{-1}$ ),  $\text{-C-OC-}$  та

піранозних циклів ( $1072\text{--}1037\text{ см}^{-1}$ ), деформаційних коливань С-Н (область при  $900\text{ см}^{-1}$ ). Як і УФ-, так і ІЧ-спектри ідентичні таким арабіногалактану модрина *Larix sibirica* [14, 24].

За даними гель-хроматографії на Sephadex S-75 Superfine середня молекулярна маса арабіногалактану, отриманого водною екстракцією, становить 65 кДа, а його гель-хроматограма має один вузький пік (рис. 1а). Гель-хроматограма ж арабіногалактану, одержаного в результаті ферментативної обробки сировини целовіридином, характеризується розширеним піком з плечем, що відповідає полісахаридним фракціям з розподілом молекулярних мас у межах 60—65 кДа та свідчить про його неоднорідність (рис. 1б).

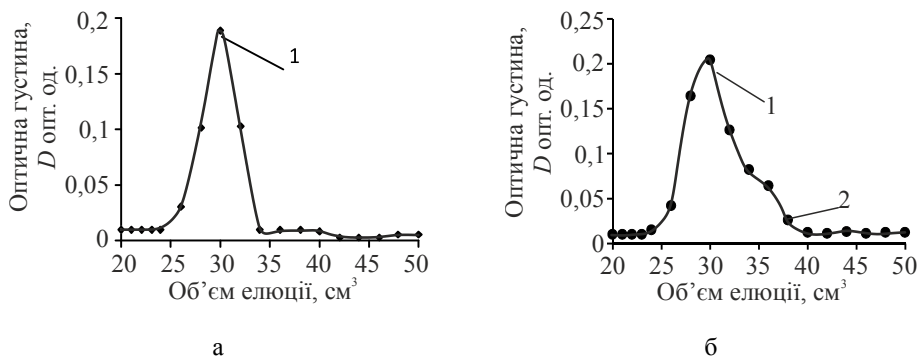


Рис. 1. Вихідні криві гель-хроматографії арабіногалактану сосни *Pinus silvestris*, отриманого стандартним методом (а), ферментативним методом із застосуванням целовіридину (б)

## Висновки

Отже, перспективним вітчизняним джерелом арабіногалактану є деревина сосни *Pinus silvestris* з Волинської області. Запропоновано біотехнологічний спосіб його вилучення, який включає попередню обробку деревини розчином ферментного препарату целовіридину, інактивацію ферменту, осадження та сушіння полісахариду, що в результаті дає змогу збільшити його вихід до 30% порівняно з виходом цього полісахариду при застосуванні стандартного методу. Препарат арабіногалактану сосни *Pinus silvestris* містить близько 98% полісахаридної складової, побудованої із залишків галактози, арабінози і глюкуронової кислоти, йому супутній фенольний компонент у кількості не більше ніж 0,3%. Доцільне подальше вивчення тонкої структури арабіногалактану сосни *Pinus silvestris*, можливості й умов утворення його супрамолекулярних комплексів з іншими біологічно активними речовинами та визначення перспектив їхнього використання як фізіологічно функціональних харчових інгредієнтів.

## Література

1. Геміцеллюлозы / М.С. Дудкин [и др.]. — Рига : Зинатне, 1991. — 488 с.
2. Арифходжаев А.О. Галактаны и галактансодержащие полисахариды высших растений / А.О. Арифходжаев // Химия природных соединений. — 2000. — № 3. — С. 185—197.

3. *Медведева Е.Н.* Арабиногалактан лиственниці — свойства и перспективы использования. Обзор / Е.Н. Медведева, В.А. Бабкин, Л.А. Остроухова // Химия растительного сырья. — 2003. — № 1. — С. 27—37.
4. *D'Adamo P.* Larch arabinogalactan / P. D'Adamo // J. Naturopath. Med. — 1996. — № 6. — P. 33—37.
5. *Schindler T.* Arabinogalactan proteins in maize coleoptiles: developmental relationship to cell death during xylem differentiation but not to extension growth / T. Schindler, R. Bergfeld, P. Schopfer // Plant J. — 1995. — Vol. 7, № 1. — P. 25—36.
6. Пат. 2360427 Российская Федерация, МПК А23F5/48. Арабиногалактан выделенный из кофе / Курти Д.Ж., Греч К., Лаббе Д.Ф., Редгуэл Р.Д., Шонман Й.Х., Уббинк Й.Б.; патентообладатель Нестек С. А. — № 2006145898/13; заявл. 18.04.05, опубл. 10.07.09. — 13 с.
7. Распределение экстрактивных веществ в древесине лиственниці сибирской (*Larix Sibirica* Ledeb.) / Н.А. Неверова, А.А. Левчук, Л.А. Остроухова, Е.Н. Медведева // Химия растительного сырья. — 2012. — № 4. — С. 91—100.
8. *Бабкин В.А.* Теоретические основы и практические разработки новых препаратов для медицины на основе экстрактивных веществ из биомассы лиственниці / В. А. Бабкин // Химия растительного сырья. — 2014. — № 3. — С. 111—119.
9. *Perez S.* The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides / S. Perez, M. Karim, Catherine Herve du Penhoat // Plant Physiol. Biochem. — 2000. — Vol. 38, № 1/2. — P. 37—55.
10.  $\beta$ -Galactosyl Yariv Reagent Binds to the  $\beta$ -1,3-Galactan of Arabinogalactan Proteins / K. Kitazawa, T. Tryfona, Y. Yoshimi [et al]. // Plant Physiol. — 2013. — Vol. 161, № 3. — P. 1117—1126.
11. Tolerability of a Proprietary Larch Arabinogalactan Extract: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial in Healthy Subjects / B. Grube, H. Stier, L. Riede, J. Gruenwald // Food and Nutrition Sciences. — 2012. — № 3. — P. 1533—1538.
12. Механохимическое получение и свойства водорастворимых межмолекулярных комплексов полисахаридов и  $\beta$ -циклодекстрина с лекарственными веществами / А.В. Душкин, Е.С. Метелева, Т.Г. Толстикова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. — 2010. — Т. 18, № 6. — С. 719—728.
13. *Grieshop C.M.* Oral administration of arabinogalactan affects immune status and fecal microbial populations in dogs / C.M. Grieshop, E.A. Flickinger, G.C. Fahey // Journal of Nutrition. — 2002. — Vol. 132, № 3. — P. 478—482.
14. Получение высокоочищенного арабиногалактана лиственниці и исследование его иммуномодулирующих свойств / Е.Н. Медведева, В.А. Бабкин, О.А. Макаренко [и др.] // Химия растительного сырья. — 2004. — № 4. — С. 17—23.
15. *Чемакина А.В.* О функциональных свойствах арабиногалактана / А.В. Чемакина, Т.Б. Цыганова, О.А. Ильина // Хранение и переработка сельхозсырья. — 1998. — № 1. — С. 44—45.
16. *Fitzpatrick A.* Larch arabinogalactan: A novel and multifunctional natural product / A. Fitzpatrick, A. Roberts, S. Witherly // Special Highlight: Prebiotics & Probiotics. — 2004. — № 1. — P. 30—32.
17. Global Arabinogalactan Industry 2016 Market Research Report [Электронный ресурс] / QYResearch. — 2016. — № 1. — 120 p. Режим доступа : <http://www.qyresearch.com/english/goods.php?id=348166>.
18. Сосна звичайна лікувальні властивості [Электронный ресурс] / 2013. — Режим доступа : <http://fitoterapevt.pp.ua/likarski-roslini/sosna-zvichajna-likuvalni-vlastivosti>.
19. *Рабинович М.Л.* Прогресс в изучении целлюлолитических ферментов и механизм биодegradации высокоупорядоченных форм целлюлозы / М.Л. Рабинович, М.С. Мельник // Успехи биологической химии. — 2000. — Т. 40. — С. 205—266.
20. Методы химии углеводов / под ред. Н.К. Кочеткова. — Москва : Мир, 1967. — 512 с.

21. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош и др. — Ленинград : Агропромиздат, 1987.— 430 с.

22. *Захарова Л.А.* Определение органических кислот, углеводов и подсластителей в пищевых продуктах и биологически активных добавках методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / А.М. Захарова, Л.А. Карцова, И.Л. Гринштейн // Аналитика и контроль. — 2013. — Т. 17. — № 2. — С. 204—210.

23. Влияние способа выделения и очистки арабиногалактана из древесины лиственницы сибирской на его строение и свойства / Е.Н. Медведева, Т.Е. Федорова, А.С. Ванина [и др.] // Химия растительного сырья. — 2006. — № 1. — С. 25—32.

24. Сульфатирование арабиногалактана сульфаминовой кислотой в диоксане / Н.Ю. Васильева, А.В. Левданский, Б.Н. Кузнецов, Г.П. Скворцова // Химия растительного сырья. — 2014. — № 1. — С. 87—95.

25. *Chung C.* Polysaccharide synthesis in growing yeast / C. Chung, W.J. Nickerson // Biol. Chem. — 1954. — Vol. 208, № 1. — P. 395—407.

## DEVELOPMENT OF LOW WASTE BIOTECHNOLOGIES OF ELASTIC LEATHER MATERIALS PRODUCTION

A. Danylkovych, V. Lishchuk

*Kyiv National University of Technologies and Design*

---

**Key words:**

*Low-waste energy-saving biotechnologies  
Soaking-liming  
Combined tanning  
Leather semi-finished products*

**Article history:**

Received 14.09.2017  
Received in revised form 05.10.2017  
Accepted 27.01.2017

**Corresponding author:**

A. Danylkovych

**E-mail:**

[npnuht@ukr.net](mailto:npnuht@ukr.net)

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-8

---

**ABSTRACT**

Based on studies of the kinetics of diffusion of technological solutions into the structure of leather raw materials and semi-finished products and desorption of globular proteins from raw materials, the conditions of alkaline processing of leather and combined structure-setting are established. The energy-saving biotechnologies for soaking-liming and chromium-titanium tanning of leather raw materials have been developed after reducing the processing time twice and increasing the yield of the area of the elastic material to 2%.

## РОЗРОБКА МАЛОВІДХОДНИХ ЕНЕРГООЩАДНИХ БІОТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЕЛАСТИЧНИХ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ

А.Г. Данилкович, В.І. Ліщук

*Київський національний університет технологій та дизайну*

*У статті на основі досліджень кінетики дифузії технологічних розчинів у структуру шкіряної сировини і напівфабрикат та десорбції глобулярних білків із сировини встановлено умови її лужної обробки й комбінованого структурування. Розроблено енергоощадні біотехнології відмочування-зоління шкіряної сировини і хромсинтантанідного дублення при скороченні тривалості обробки у два рази та підвищенні виходу площі еластичного матеріалу до 2%.*

**Ключові слова:** *маловідходні енергоощадні біотехнології, відмочування-зоління, комбіноване дублення, шкіряний напівфабрикат.*

**Постановка проблеми.** У зв'язку з великою різноманітністю шкіряної сировини, багатостадійністю технологічних процесів її переробки, а також вимогами до комплексу властивостей еластичних матеріалів існує актуальна

проблема розробки інноваційних технологій на окремих стадіях їх формування. Це обумовлено тим, що на кожній стадії технологічного циклу створюється специфічна структура шкіряного напівфабрикату, яка суттєво визначає ефективність проведення всіх наступних стадій і кінцеві властивості матеріалу. При цьому особлива роль належить біотехнологічним процесам відмочування шкур тварин, лужного зневолошування-зоління шкіряної сировини, дублення отриманого шкіряного напівфабрикату.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі відмочування-зоління шкіряної сировини різних видів консервування використовується широкий асортимент хімічних реагентів, у тому числі екологічно шкідливих і біологічно-активних добавок за різних технологічних умов виконання цих процесів.

З цією метою в [6] для шкіряної сировини різних методів консервування використано карбонат натрію, неіоногенну поверхнево-активну речовину (ПАР) і протеолітичні ферменти. На основі проведених досліджень авторами встановлена тривалість відмочування шкур великої рогатої худоби (ВРХ) при температурі 23° С, яка для сировини мокросолоного консервування є в два рази тривалішою за парні шкури. При цьому контроль процесу проводився за збільшенням маси шкур і властивостей відпрацьованого технологічного розчину.

У [2] досліджено вплив трьох лужних протеаз TanG, LimeG і FP50 на процес відмочування шкіряної сировини. Встановлено, що поєднання ферментів TanG і LimeG дає синергетичний ефект при відмочуванні за оптимальних значень температури і рН середовища. При цьому в стічних водах зменшується концентрація завислих частинок і біологічне та хімічне споживання кисню.

Якісне проведення процесів відмочування-зоління шкіряної сировини є необхідною умовою для формування шкіряних матеріалів. При цьому процес дублення передбачає ефективне виконання фізико-хімічного структурування з використання широкого асортименту хімічних реагентів при їх комбінації [3]. Для отримання шкіряних матеріалів з підвищеною гідротермічною стійкістю необхідно використовувати не менше двох реагентів різної природи. В [1] досліджено вплив дубильної композиції на процес структурування напівфабрикату з сировини козлини. Продублений напівфабрикат при зменшеній витраті сполук хрому характеризується вищою за 100° С температурою гідротермічної стійкості ( $T_{гс}$ ). При цьому вміст оксиду хрому в стічних водах знизився до 0,17 г/дм<sup>3</sup>. Отримані одягові шкіри відзначалися рівномірним розподілом сполук хрому в товщині напівфабрикату, підвищеною еластичністю і шовковистою лицьовою поверхнею.

Отже, незважаючи на екологічну шкідливість сполук хрому, повністю виключити їх з технологічного процесу неможливо [4] при формуванні еластичних шкіряних матеріалів з комплексом високих пружно-пластичних характеристик. Слід відзначити, що при використанні ферментних препаратів проявляється сильний специфічний вплив на структуру і властивості шкіряних матеріалів, що вимагає ретельного контролю технологічного процесу.

**Мета статті:** дослідження колоїдно-хімічних процесів відновлення структури консервованої шкіряної сировини великої рогатої худоби та її консолідація для виготовлення еластичних шкіряних матеріалів.

Завдання з дослідження:

- відновлення структури консервованої шкіряної сировини до нативного стану;
- комбінованого структурування шкіряного напівфабрикату з використанням танідів мімози;
- розробки технологій відмочувально-зольних процесів і комбінованого хромсинтанідного дублення шкіряного напівфабрикату.

**Викладення основних результатів дослідження.** Для дослідження була використана шкіряна сировина великої рогатої худоби мокросоленого консервування — шкури бичка, скомплектована у лабораторні партії. Сорбцію лужного розчину дермою і десорбцію глобулярних білків та хлориду натрію визначали ваговим методом, ступінь структурування шкіряного напівфабрикату — гідротермічною стійкістю за температурою початкового скорочення зразка при швидкості нагрівання  $2\text{—}3^\circ \text{C/хв}$ .

Структурні зміни напівфабрикату після відмочування, зоління, ферментної обробки та дублення визначали безпосередньо на електронному мікроскопі «РЕММА-102» (Україна) [5].

Шкіряна сировина при відмочуванні-золінні характеризується глибокими структурними перетвореннями, обумовленими результатами руйнування амідних міжмолекулярних зв'язків у результаті десорбції глобулярних білків та інших компонентів дерми. Цьому сприяє як склад технологічного розчину, так і умови його взаємодії з колагеном дерми. Результати дослідження впливу температури і концентрації карбонату натрію при співвідношенні сировина/робочий розчин 1,0/1,5 на ефективність відновлення водного балансу парної сировини наведено на рис. 1. Слід відзначити, що температура лужної обробки шкіряної сировини  $28^\circ \text{C}$  є критичною, оскільки при подальшому підвищенні температури обробки відбувається деструкція колагену дерми.

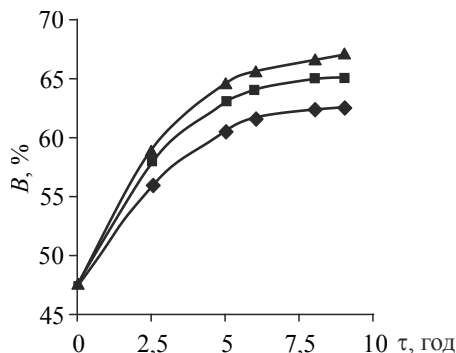
З наведених даних видно, що ступінь поглинання води зразками консервованої сировини інтенсивно збільшується протягом 2,5 год при наступному сповільненні. З підвищенням температури з  $20$  до  $28^\circ \text{C}$  вологопоглинання зразків збільшується на 5% при вмісті у робочому розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  4 г/л порівняно із зразками, обробленими за відсутності лужного реагенту. При підвищенні концентрації  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  до 12 г/л за температури  $20^\circ \text{C}$  вологовміст зразків досягає лише 65%. Отже, вологовміст консервованої шкіряної сировини ефективніше відновлюється для парної сировини при температурі відмочування  $28^\circ \text{C}$  і вмісту  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у робочому розчині 4 г/л протягом 5 год.

При відновленні вологовмісту шкіряної сировини одночасно відбувається десорбція консервантів, зокрема  $\text{NaCl}$ , і глобулярних білків у робочий розчин (рис. 2). Кінетика цього процесу аналогічна залежності вологовмісту від тривалості відмочування шкіряної сировини. Підвищення температури активізує процес десорбції глобулярних білків у робочий розчин на 20%. При цьому в результаті відновлення водного балансу структури зразків шкіряної сировини при температурі  $28^\circ \text{C}$  вона одночасно ефективніше звільнюється від  $\text{NaCl}$ , концентрація якого у робочому розчині досягає 140 г/л через 8 год.

Отже, підвищення температури процесу відмочування шкіряної сировини на  $8^\circ \text{C}$  дає змогу зменшити концентрацію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у робочому розчині у три

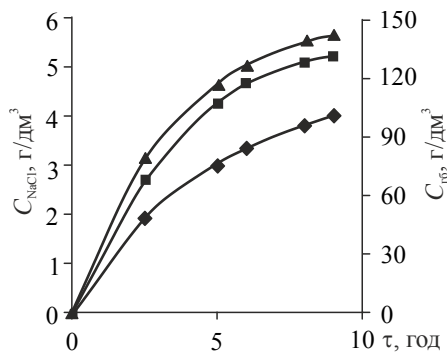


рази і тривалість його взаємодії з сировиною щодо традиційної технології на 37—39% протягом 5—5,5 год.



**Рис. 1.** Залежність вологовмісту шкіряної сировини від тривалості відмочування при температурі, °С:

1, 2 — 20; 3 — 28 і  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , г/л:  
1 — немає; 2 — 12, 3 — 4



**Рис. 2.** Кінетика десорбції глобулярних білків (1, 2) і  $\text{NaCl}$  (3) при температурі, °С:

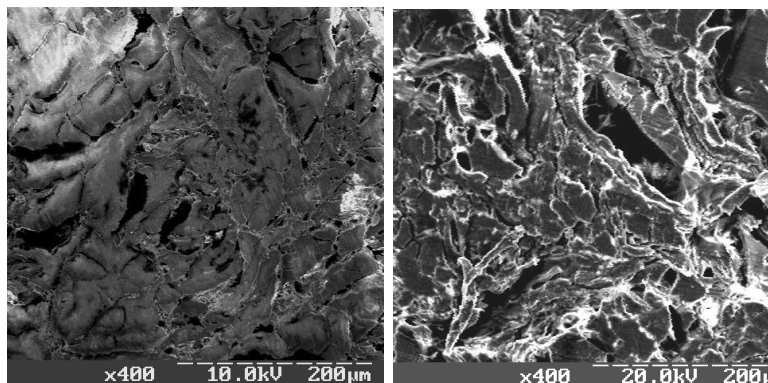
1 — 20; 2, 3 — 28

Найбільші структурні перетворення у колагені дерми відбуваються під час зневолошування-зоління з використанням  $\text{Na}_2\text{S}$  і  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (рис. 3). Як видно з рис. 3, сира шкура після відмочування має консолідовану волокнисту структуру (рис. 3а), окремі фібрили і елементарні волокна якої об'єднані у пучки, між якими існують пустоти, заповнені після відмочування робочим розчином. Під дією лужних реагентів при подальшому золінні структура дерми стає більш однорідною, гомогенною (рис. 3б) і активною для подальших технологічних обробок.

У результаті проведених комплексних досліджень процесів лужної обробки консервованих шкур тварин розроблена технологія відмочувально-зольних процесів (ВЗП) шкіряної сировини ВРХ, яка суттєво відрізняється від раніше існуючої меншими витратами хімічних реагентів і води, тривалістю обробки сировини, економією електричної енергії й екологічною ефективністю (табл. 1). Розроблена технологія реалізується при підвищеній температурі на 8—10° С. При цьому технологія передбачає обробку шкіряної сировини у дві стадії при швидкості обертання рухомого апарата 6—7 хв<sup>-1</sup>. На початку обробки сировини виконується її промивання при втраті, % маси сировини: води — 100 і  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 0,25 протягом 0,5 год.

Для відмочування сировини в апарат дозують, мас. %: вода — 80, неіоногенна ПАР — 0,15,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 0,1. Через одну годину розчин зливається. Друге відмочування суміщається із золінням при поступовому додаванні реагентів, мас. % сировини: вода — 80,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — 0,4, неіоногенна ПАР — 0,2; через 0,5 год дозують ферментний препарат Basozim S-20 — 0,3; через 2,5 год  $\text{NaHS}$  — 0,2; через 1 год  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — 0,3, аміний препарат Mollescal LC — 1,0; через 1 год вміст  $\text{NaHS}$  збільшують до 0,9,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до 1,3 і додають  $\text{Na}_2\text{S}$  — 0,6; ще через 1 год концентрацію  $\text{Na}_2\text{S}$  і  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  підвищують відповідно до 1,2 і 3,3. При цьому режим обертання апарата періодичний, хв: протягом першої години — 30, другої — 10, у наступні години — по 5,

перед завершенням процесу — 30. Загальна тривалість зоління 10 год. Отриману голину промивають з поступовим зниженням температури до 20—22° С.



**Рис. 3.** Електронно-мікроскопічні зображення поперечного перерізу дерми шкіри: а — після відмочування, б — після зоління

Аналіз властивостей напівфабрикату лужної обробки (табл. 2) показує, що після завершення зоління сформований напівфабрикат за розробленою технологією характеризується показниками, величини яких практично не відрізняються від раніше існуючих технологій. Однак дещо менше витоплення желатину із зеленої голини свідчить про вищу термостійкість колагену дерми, отриманої за розробленою технологією.

**Таблиця 1.** Характеристика розробленої технології відмочувально-зольних процесів переробки мокросолоної сировини

Показник	Технологія ВЗП	
	розроблена	існуюча
Матеріаловитрати, кг/т	78,0	129,3
у т. ч.: Na <sub>2</sub> S + NaSH	12,0 + 9,0	29,5
Ca(OH) <sub>2</sub>	33,0	80,8
Витрата води, м <sup>3</sup> /т	4,8	11,5
Тривалість загальна, год	19,0	44,5
- відмочування	5,0	8,5
- зоління	13,0	34,0
- промивання	1,0	2,0
Споживання електричної енергії, кВт/т	20,6	38,3

**Таблиця 2.** Фізико-хімічні показники зеленої голини

Показник	Технологія ВЗП	
	розроблена	існуюча
Ферментно-термічна стійкість, хв	53,0	51,0
Витоплення желатину при 57° С, %	10,7	12,5
Деформація голини, %, при навантаженні, кПа		
1	12,0	6,0
5	32,0	25,0
- пружна	29,0	41,0
- залишкова	39,0	27,0

Поряд з цим за пружно-пластичними властивостями зелений напівфабрикат, одержаний за розробленою технологією, характеризується підвищеною деформаційністю менш щільних периферійних ділянок шкіур і меншими значеннями пружної деформації. Це сприятиме формування шкіряного матеріалу з підвищеним виходом площі.

Таким чином, результати дослідження процесів відмочування—зоління шкіряної сировини, аналізу ефективності розробленої технології, у тому числі властивостей зеленого напівфабрикату, вказують на можливість раціонального використання отриманого напівфабрикату. Для ефективного проведення наступного технологічного процесу хімічного структурування зелений напівфабрикат підлягає знезоленню, ферментній і кислотно-сольовій обробкам.

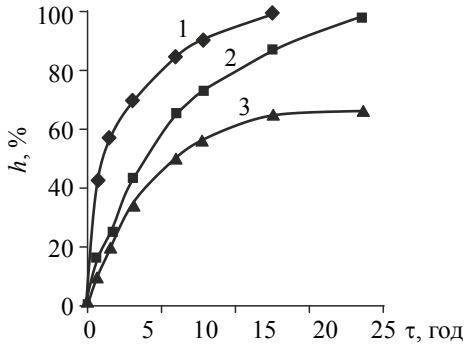
Для дублення шкіряного напівфабрикату раніше, в основному, використовували сполуки хрому в заздалегідь приготовленому розчині при рН 3,0—3,3. При цьому переважно дифундують у структуру колагену дерми діядерні гідроксосульфатохромові комплекси (ГСХК) катіонної форми, що взаємодіють з іонізованими карбоксильними групами у внутрішній сфері при підвищенні рН системи, утворюючи міжмолекулярні зв'язки, що забезпечують процес хімічного структурування колагену дерми. Однак для ефективного проведення цього процесу необхідно повільно підвищувати рН середовища. При використанні ГСХК аніонної форми, які додаються в технологічний розчин у сухому диспергованому стані, вони поступово переходять у катіонну форму завдяки виходу сульфогруп із внутрішньої у зовнішню сферу комплексів. При цьому свіжоутворені сполуки ГСХК активніше взаємодіють з карбоксильними групами колагену дерми, внаслідок чого скорочується тривалість його хімічного структурування.

Поряд з карбоксильними функціональними групами в процесах його структурування можуть брати участь і аміногрупи поліпептидних ланцюгів біополімеру. Зокрема, при використанні як структуруючого агента танідів, молекули яких містять велику кількість гідроксильних груп кислого характеру, можуть утворювати значну кількість водневих міжмолекулярних зв'язків з колагеном і виконувати також функцію активного наповнювача. Враховуючи розміри частинок танідів, які порівняно з ГСХК мають суттєво більші розміри і меншу дифузійну здатність, вони використовуються після попередньої фіксації структури колагену дерми низькомолекулярними реагентами, такими як формальдегід, поліфосфати натрію, ГСХК та ін. При цьому швидкість дифузії танідів у структурований колаген дерми суттєво залежить від виду їх походження.

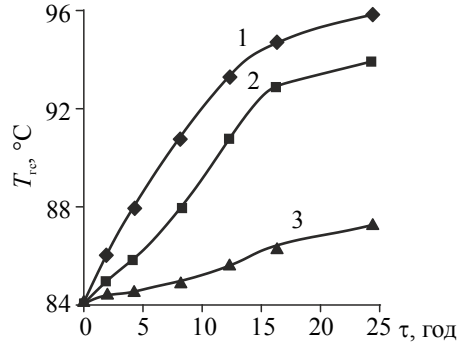
Як свідчать результати дослідження дифузії танідів у попередньо структурований ГСХК напівфабрикат (рис. 4) з витратою 1,6% його маси товщиною 3,0 мм, швидкість дифузії танідів мімози через 16 год більша порівняно з танідами верби на 20%, а їх суміш з синтетичним дубителем БНС за цей час забезпечує наскрізну дифузію. Цей ефект може бути обумовлений дезагрегуючим впливом синтану БНС на частинки танідів і, відповідно, зменшенням їх розмірів.

Дослідження впливу виду танідів на структурування напівфабрикату (рис. 5) показують, що попередньо стабілізована структура напівфабрикату ГСХК при

подальшій взаємодії з танідами поліфенольного типу характеризується підвищеним ступенем його структурованості. При цьому характер залежності  $T_{гс}$  від тривалості процесу структурування адекватний кінетиці дифузії танідів у структуру напівфабрикату.



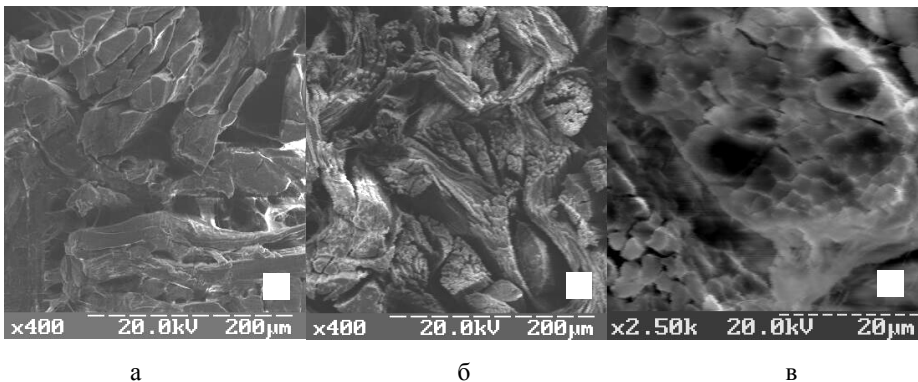
**Рис. 4.** Кінетика дифузії у структурований напівфабрикат танідів: 1 — мімоза/БНС = 4/1, 2 — мімоза, 3 — верба



**Рис. 5.** Залежність  $T_{гс}$  структурованого напівфабрикату від тривалості його взаємодії з танідами: 1 — мімоза/БНС = 4/1, 2 — мімоза, 3 — верба

Еволюція структурних перетворень колагену дерми добре відображається на мікроскопічних зображеннях поперечного перерізу шкіряного напівфабрикату на різних стадіях його обробки (рис. 6). Як видно з рис. 6а, пучки волокон колагену дерми після ферментної обробки знезоленого напівфабрикату злипаються. При цьому між ними чітко проявляються пори.

Після структурування колагену дерми ГСХК чітко виявляється поділ пучків волокон на елементарні волокна (рис. 6б) зі збільшенням кількості пор і зменшенням їх розмірів. Після хромсинтантанідного структурування колагену дерми менш чітко проявляються особливості досліджуваної структури зразків навіть при  $\times 2500$  разів (рис. 6в). При цьому виявляються тільки макропори.



**Рис. 6.** Електронно-мікроскопічні зображення поперечного перерізу напівфабрикату: а — ферментної обробки, б — дубленого ГСХК, в — хромсинтантанідної обробки

Отже, одержані результати кінетики дифузії суміші танідів мімози і синтану БНС у співвідношенні 4:1 і досягнутою порівняно високою гідротермічною стійкістю структурованого колагену дерми та електронно-мікроскопічних досліджень дають підстави для використання розробленого хромсинтантанідного дублення у технологіях обробки шкіряного напівфабрикату.

Ефективність проведення структурних перетворень отриманого напівфабрикату на стадії дублення визначається станом сформованої структури на попередніх біотехнологічних обробках шкіряної сировини. Разом з тим раціональне використання хімічних реагентів також залежить від особливостей структури шкіряного напівфабрикату та інноваційного рівня технології, що розробляється. На основі комплексу попередніх науково-технічних досліджень було розроблено комбіновану технологію хромсинтантанідного дублення (ХСТ). Про переваги розробленої технології свідчать результати її порівняння з промисловою технологією (ХСТ-П) (табл. 3).

Технологія ХСТ дублення напівфабрикату передбачає переддубильну обробку електролітостійкою жировою емульсією. Для забезпечення ефективної дифузії танідів у структуру напівфабрикату товщиною 2,4 мм, його після кислотно-сольової обробки попередньо структурують ГСХК із суттєво меншою витратою порівняно з технологією ХСТ-П. Перед обробкою напівфабрикату синтином БНС з витратою 2,5% дубильних речовин маси напівфабрикату в барабан заливають жирову емульсію, а потім додають порошок танідів.

*Таблиця 3. Характеристика технології дублення та властивості шкіряного напівфабрикату*

Показник	Технологія дублення	
	ХСТ	ХСТ-П
Витрата, % маси зеленого напівфабрикату, ОСХ	1,6	2,4
- електролітостійкого жиру	3,0	—
- хлориду натрію	4,5	6,0
- води	50/120	100/120
- танідів мімози	10	12
Тривалість загальна, год	24,0	10 <sup>1</sup> /42
Поглинання ОСХ, % початкової маси	98,0	89,3
Температура гідротермічної стійкості, °С	85,0	87,0
Вихід площі, % площі голини	96,7	95,0
Споживання електричної енергії, кВт/т	144,0	196,0

<sup>1</sup>Тривалість підготовки до ХСТ дублення

Отже, розроблену технологію, що відзначається скороченням витрат сполук хрому на 33,0%, можна розглядати як екологічно орієнтовану. Ця технологія забезпечує зменшене споживання електроенергії на 26% та більший на 1,7% вихід площі шкіряного матеріалу.

### **Висновки**

У результаті досліджень структурних перетворень шкіряної сировини у колоїдно-хімічних процесах під дією лужних реагентів відбувається звільнення колагену дерми від консервувальних реагентів і глобулярних білків,

що сприяє доступності гідрофільних функціональних груп до взаємодії з хімічними реагентами. Встановлено умови лужної обробки шкірної сировини мокросолоного консервування, при яких колоїдно-хімічний стан сировини за обводненням наближається до первинного парного її стану. Це відбувається при температурі процесу 26—28° С і скорочені витрат у технологічному розчині в три рази карбонату натрію за наявності ферментного препарату.

Розроблена технологія відмочування-зоління шкіряної сировини великої рогатої худоби відноситься до матеріало-, енергозбережних та екологічно ефективних і забезпечує зменшення витрат хімічних реагентів і води відповідно у 1,6 і 2,3 рази, електричної енергії — у 1,8 рази, тривалості обробки — у 2,3 рази.

Встановлено симбатне підвищення  $T_{гс}$  шкіряного напівфабрикату із ступенем дифузії структуруючих реагентів в процесі їх взаємодії. Розроблена технологія дублення напівфабрикату з сировини великої рогатої худоби характеризуються порівняно з існуючою технологією на публічному АТ «Чинбар» зменшено витратою сполук хрому (III) в 1,5 рази для шкіряних матеріалів хромсинтантанидного дублення. Одночасно тривалість технологічного циклу процесу дублення скорочується у два рази і зменшується витрата електричної енергії на 36%.

Розроблені технології відмочувально-зольних процесів і комбінованого хромсинтантанидного дублення забезпечують підвищення виходу площі натурального шкіряного матеріалу до 2% і відповідають міжнародним стандартам ISO 9001 «Системи управління якістю. Вимоги» та ДСТУ ISO 14001 «Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування».

Враховуючи технологічну і екологічну ефективність розроблених технологій відмочувально-зольних процесів обробки шкур великої рогатої худоби і напівфабрикату, можна вважати їх перспективними для впровадження на шкіряних промислових підприємствах.

### Література

1. Enhancement of chromium uptake in tanning process of goat garment leather using nanocomposite / L. Min, M. Jianzhong L. Bin, G. Dangge, Z. Jing // *J. of Cleaner Production*. — 2016. — V. 133. — P. 487—494.
12. Greener approach to efficient leather soaking process: role of enzymes and their synergistic effect / Ma Jianzhong, Hou Xueyan, Gao Dangge *et al.* // *J. of Cleaner Production*. — 2014. — V. 78. — P. 226—232.
3. Hui C.A cleaner chrome-free tanning regime: Sulfonated urea-phenol-formaldehyde condensed polymer and ferrous sulfate tanning / C. Hui, G. Jun, S. Zhihua // *J. Amer. Leather Chem. Assoc.* — 2011. — V. 106. — P. 18—24.
4. Krishnaraj K. Effect of chromium and tanning method on the drape of goat suede apparel leathers / K. Krishnaraj, P. Thanikaivelan, B. Chandrasekaran // *Amer. Leather Chem. Assoc.* — 2010. — V. 105. — P. 71—83.
5. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ [Текст] / Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин, Д. Джой, Ч. Фиори, Э. Лифшин; пер. с англ. Р.С. Гвоздоверр, Л. Ф. Комоловой. — Москва : Мир, 1984. — Т. 1. — 343 с., Т. 2. — 351 с.
6. The mechanisms of effective soaking: Fresh and brine-cured hides / Stockman G., Didato D., Steele S. *et al.* // *World Leather*. — 2010. — V. 23. — P. 31—35.

## THEORY AND TECHNOLOGY OF DRYING THERMOLABILE RAW MATERIALS IN MIXED ENERGY INSTALLATIONS

V. Potapov, E. Yakushenko

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

---

**Key words:**

*Process  
Energy efficiency  
Drying kinetics  
Mass transfer module  
Conductive supply  
Vegetable raw materials*

---

**Article history:**

Received 06.09.2017  
Received in revised form  
19.09.2017  
Accepted 14.10.2017

---

**Corresponding author:**

V. Potapov  
**E-mail:**  
potapov@bigmir.net

---

**ABSTRACT**

The article is devoted to solving the scientific and applied problem of improving the energy efficiency of thermolabile raw materials drying process in mixed energy installations. One of the prospective methods of heat drying is drying with mixed heat supply (MHS-drying) as the method of obtaining highly porous prompt recovering product for subsequent direct grinding it into powder. The disadvantage of the current realization of the MHS-drying method is the presence of mixed convective and conductive heat supply, under which heat from the air is transferred by convective way to the surface of mass transfer module, and then conductively to internal layers. The use of the heater for conductive heat transfer, while the external convective flow acts as a desiccant, is proposed due to the working hypothesis of improving the energy efficiency of the drying process by separating the functions of heat and mass transfer between the internal heater and external airflow.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-9

---

## ТЕОРІЯ І ТЕХНІКА СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ СИРОВИНИ В УСТАНОВКАХ ЗМІШАНОГО ЕНЕРГОПІДВОДУ

В.О. Потапов, Є.М. Якушенко

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

*Стаття присвячена вирішенню науково-прикладного завдання підвищення енергоефективності процесу сушіння рослинної сировини в установках змішаного енергопідводу. Одним із перспективних способів теплового сушіння є сушіння зі змішаним тепlopідведенням (ЗТП-сушіння) як метод одержання високопористого швидковідновлювального продукту для подальшого безпосереднього здрібнювання в порошок. Недоліком існуючої реалізації способу ЗТП-сушіння є наявність змішаного конвективно-кондуктивного підведення теплоти, за якого теплота від повітря передається конвективним шляхом до поверхні масообмінного модуля, а потім від неї — до внутрішніх шарів кондуктивно. Відповідно до робочої гіпотези про підвищення енергоефектив-*

ності процесу сушіння шляхом поділу функцій тепло- і масообміну між внутрішнім нагрівачем і зовнішнім потоком повітря запропоновано використання нагрівача для кондуктивної передачі теплоти, при цьому зовнішній конвективний потік виконує функцію поглинача вологи.

**Ключові слова:** процес, енергоефективність, кінетика сушіння, масообмінний модуль, кондуктивне підведення, рослинна сировина.

**Постановка проблеми.** Агропромисловий комплекс України — один із найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів у країні. Переробка плодів і овочів у харчові напівфабрикати й готові продукти здійснюється в досить великих масштабах, що потребує значних витрат енергії.

В Україні в останні роки збільшується виробництво рослинної сировини, проте, майже повністю відсутня переробка вторинної рослинної сировини. Вторинна рослинна сировина, перероблена в порошоківий напівфабрикат, є найціннішою сировиною для харчової, хімічної, фармацевтичної та косметологічної промисловості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш енерговитратним процесом переробки рослинної сировини є процес сушіння. На даний момент технологічні процеси сушіння та їхні апаратні реалізації неповною мірою відповідають сучасним вимогам до устаткування підприємств харчових виробництв. Підвищенням енергоефективності сушильного обладнання займалися такі вчені, як М.О. Гршин, Ю.Ф. Снежкін, О.Г. Бурдо, М.І. Погожих та ін.

Одним із перспективних способів теплового сушіння є сушіння зі змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння) як метод одержання високопористого швидковідновлювального продукту для подальшого безпосереднього здрібнювання в порошок. Недоліком існуючої реалізації способу ЗТП-сушіння є наявність змішаного конвективно-кондуктивного підведення теплоти, при якому теплота від повітря передається конвективним шляхом до поверхні масообмінного модуля, а потім від неї — до внутрішніх шарів кондуктивно.

Тому була висунута гіпотеза про підвищення енергоефективності процесу ЗТП-сушіння шляхом поділу функцій тепло- і масообміну між внутрішнім нагрівачем і зовнішнім потоком повітря, при якому нагрівач використовується для кондуктивної передачі теплоти, а зовнішній конвективний потік виконує функцію поглинача вологи. У цьому випадку градієнти температур і потоку маси збігаються за напрямком.

Застосування кондуктивного підведення теплоти безпосередньо до матеріалу дасть змогу зменшити енерговитрати й збільшити продуктивність сушарок.

**Мета дослідження:** підвищення енергоефективності процесу сушіння в масообмінному модулі (МОМ) з використанням кондуктивного підведення теплоти й обґрунтування раціональних режимів сушіння рослинної сировини.

**Викладення основних результатів дослідження.** Проблема виробництва продуктів харчування, збагачених різними біологічно активними добавками, надзвичайно актуальна для України в умовах економічної й екологічної кризи. Це призвело до збільшення захворюваності населення, причиною якого значною мірою є деформація харчових раціонів. Тепер в Україні та



інших країнах відзначається високий рівень споживання населенням вуглеводнів і жирів, а споживання БАР, особливо вітамінів, порівняно з розвиненими країнами перебуває на досить низькому рівні (приблизно 50%). Фрукти, ягоди й овочі є одним з основних джерел життєво важливих для людини органічних речовин — вітамінів, мінеральних речовин, пектину тощо [1] Споживання фруктів, а особливо ягід, має сезонний характер, тому більшу частину року їх споживають у консервованому вигляді. Недоліком промислової переробки плодів (стерилізація, пастеризація, гомогенізація, механічна обробка тощо) є руйнування й окислювання вітамінів, ароматичних та інших БАР, крім того, великий рівень відходів. Потреба у фруктовому-ягідній продукції для дитячого харчування в Україні задовольняється не більше ніж на 20%.

Одним зі способів збагачення раціону харчування є додавання порошоків, отриманих різними способами сушіння [2].

Порошки дають змогу істотно розширити харчові ресурси, значно поліпшити асортименти нових видів харчових виробів, в яких у концентрованому вигляді збережені всі інгредієнти, що входять до складу вихідної сировини. Вони успішно можуть використовуватися в кондитерських, хлібобулочних, молочних продуктах, у продуктах масового харчування й харчоконцентратах.

Нині існують кілька різних методів одержання порошоків, які можна розділити на три групи.

До першої групи належать методи, за яких рослинна сировина перетворюється в пастоподібний або пюреподібний стан. Отриману масу потім висушують до низької кінцевої вологості, подрібнюють до одержання порошку й розфасовують у герметичну тару. При цьому, зазвичай, використовують кондуктивний, конвективний, конвективно-кондуктивний або сублімаційний метод сушіння. Порошки, отримані таким чином, добре розчинні в рідині й технологічні. Проте через високу гігроскопічність і пластичність до них додають наповнювачі — хімічно інертні речовини.

До другої групи належать методи одержання порошоків, в яких рослинна сировина безпосередньо збезводнюється кондуктивним, конвективним, конвективно-кондуктивним або сублімаційним способом. Потім висушений до низької вологості продукт подрібнюють до порошкоподібного стану, розділяють на фракції, які мають різний вміст цінних харчових речовин, і герметично запаковують.

Для подрібнення висушеної сировини існує величезна кількість різноманітних подрібнювальних пристроїв, які відрізняються конструктивно. Але для всіх цих способів характерні високі локальні температури на поверхнях робочих органів машин, що призводить до нагрівання оброблюваного матеріалу й спричиняє втрати значної частини біологічно активних і ароматичних речовин.

Вибір методу сушіння й типу сушильної установки повинен здійснюється на основі комплексного аналізу властивостей харчових матеріалів як об'єктів сушіння, а також одержання ресурсозберігаючих технологій виробництва порошоків.

Зневоднювання, яке застосовується для різних матеріалів, можна розділити за енергетичним принципом на видалення вологи без зміни його агре-

гатного стану (у вигляді рідини) і видалення вологи з матеріалу зі зміною його агрегатного стану.

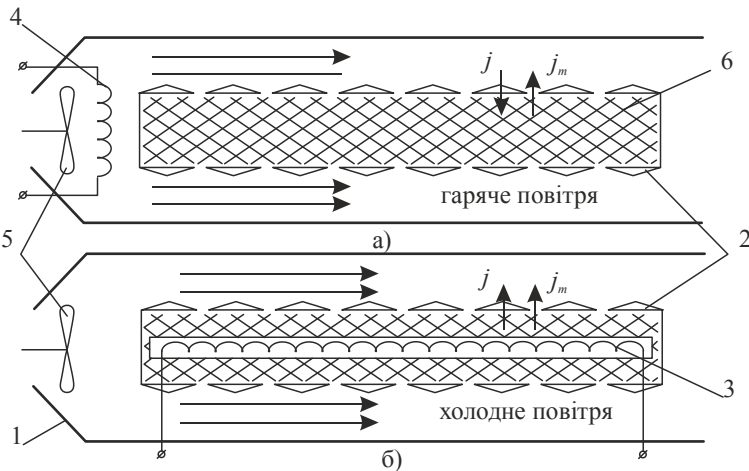
Вибір раціонального способу сушіння для одержання порошків потрібно робити на основі технічних, технологічних і економічних показників. Основними способами сушіння на сьогодні є: кондуктивний, радіаційний, сублімаційний та інші.

Технічна реалізація сушарок відрізняється більшою конструктивною розмаїтістю за способом підведення теплоти до матеріалу, конструкцією сушильної камери, способом завантаження й вивантаження, ступенем автоматизації тощо.

У результаті проведеного аналізу сучасних способів сушіння термолабільної сировини встановлено, що найбільш перспективним методом сушіння є сушіння в установках змішаного енергопідводу [3].

Але недоліком існуючої реалізації способу змішаного енергопідводу є наявність конвективно-кондуктивного підводу теплоти, при якому теплота від повітря передається конвективним шляхом до поверхні тепломасообмінного модуля, а потім від її до внутрішніх шарів кондуктивно [4].

Таким чином, існує два лімітуючих фактори процесу сушіння (рис. 1): низьке значення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією та наявність градієнта температур, який спрямовано проти внутрішнього потоку маси.

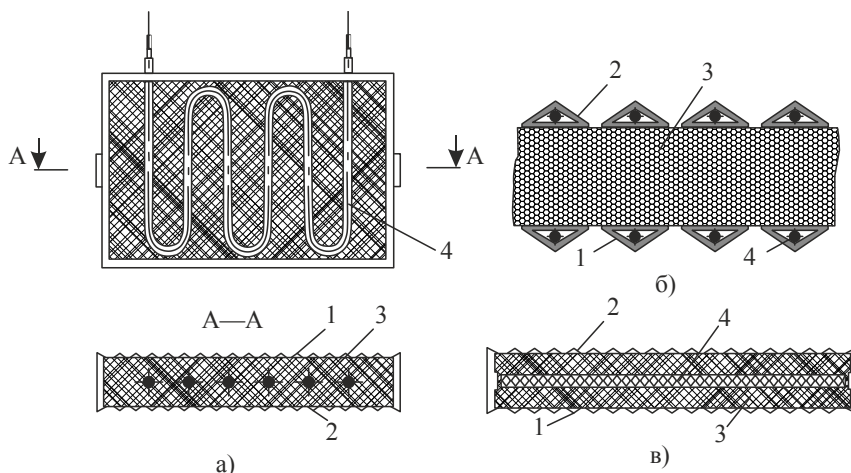


**Рис. 1. Схема масообмінного модуля:**

- а) — конвективне підведення теплоти; б) — кондуктивне підведення теплоти;  
 1 — сушильна камера; 2 — масообмінний модуль; 3 — внутрішній нагрівач; 4 — зовнішній нагрівач; 5 — вентилятор; 6 — продукт;  $j$  — потік теплоти;  $j_m$  — потік маси

Нами висунута гіпотеза про підвищення енергоефективності процесу сушіння шляхом поділу функцій тепло- і масообміну між внутрішнім нагрівачем і зовнішнім потоком, при якому нагрівач використовується для кондуктивної передачі теплоти, а зовнішній конвективний потік виконує функцію поглинача вологи. У цьому випадку градієнти температур і потоку маси збігаються за напрямками.

З метою з'ясування способу реалізації кондуктивного теплопідводу при сушінні були досліджені три варіанти MOM, які відрізнялися розташуванням і конструкцією тепловиділяючих елементів (рис. 2): внутрішній трубчастий нагрівач (ВТН); плоский поверхневий нагрівач (ППН); внутрішній плоский нагрівач (ВПН).



**Рис. 2. Конструкція тепловиділяючих елементів у масообмінному модулі:**  
 а) внутрішній трубчастий нагрівач (ВТН); б) плоский поверхневий нагрівач (ППН);  
 в) внутрішній плоский нагрівач (ВПН); 1 — дно; 2 — кришка; 3 — продукт; 4 — нагрівач

Відповідно до поставлених завдань були проведені теоретичні та експериментальні дослідження. Для теоретичного обґрунтування ефективності конвективного та кондуктивного теплопідводу до MOM нами була використана математична модель тепло-масоперенесення при сушінні на основі класичного рівняння теплового балансу (1) та отримані вирази для визначення залежності безрозмірного температурного напору: джерело теплоти — матеріал від процесних факторів у випадку конвективного (2) та кондуктивного теплопідводу (3):

$$c\rho V \frac{dT}{d\tau} = jS - r_w \rho V \frac{dw}{d\tau}, \quad (1)$$

де  $c$  — середня питома теплоємність продукту, Дж/(кг·К);  $T$  — середня температура продукту у MOM, К;  $w$  — середній вологовміст продукту, кг/кг;  $j$  — середня густина потоку теплоти всередині MOM, Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho$  — середня густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — об'єм MOM, м<sup>3</sup>;  $S$  — площа теплообмінної поверхні MOM, м<sup>2</sup>;  $r_w$  — питома теплота пароутворення, Дж/кг.

$$\Theta_{\text{конв}} = \frac{Bi_{\Sigma} + 2}{2Bi_{\Sigma}} (1 + Ko) / Fo; \quad (2)$$

$$\Theta_{\text{конд}} = \frac{(1 + Ko) / Fo + Bi_{\Sigma}}{2(1 + Bi_{\Sigma})}, \quad (3)$$

де  $\Theta_{\text{конв}}$  — безрозмірний температурний напір при конвективному теплопідведенні;  $\Theta_{\text{конд}}$  — безрозмірний температурний напір при кондуктивному теплопідведенні;  $Bi_{\Sigma} = \frac{Bi}{1 + Bi_{\delta}}$  — симплекс числа Біо;  $Fo$ ,  $Ko$  — числа Фур'є, Косовича.

Величина температурного напору в процесі сушіння слугує мірою апаратних енерговитрат у сушарці.

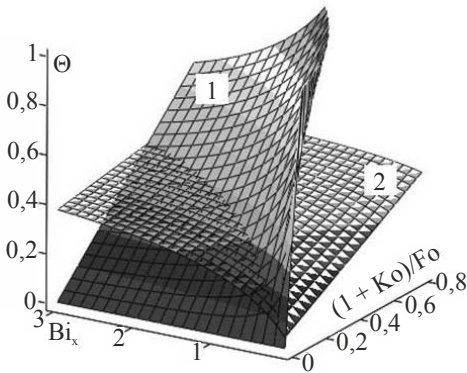
Отримані розрахункові залежності безрозмірних температурних напорів для двох способів теплопідводу (рис. 3), дають змогу зробити такі висновки:

- зі збільшенням інтенсивності процесу сушіння (відношення числа Коссовича до числа Фур'є) і зменшенням числа Біо, енерговитрати на процес сушіння зростають;

- при малій інтенсивності сушіння  $(1 + Ko)/Fo$  апаратні витрати енергії у випадку конвективного теплопідводу ( $\Theta_{\text{конв}} < \Theta_{\text{конд}}$ ) зменшуються;

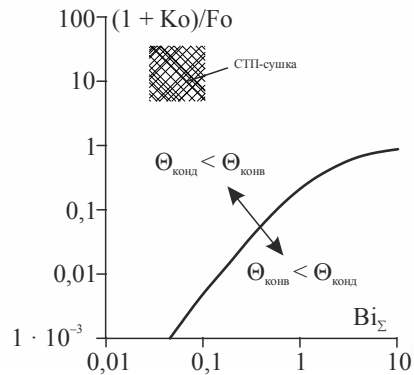
- при великій інтенсивності сушіння апаратні витрати енергії зменшуються у випадку кондуктивного теплопідводу ( $\Theta_{\text{конд}} < \Theta_{\text{конв}}$ ).

Таким чином, уперше теоретично обґрунтовано, що область енергоефективних режимів змішаного теплопідводу відповідає кондуктивному теплопідводу (рис. 4.), що викликає необхідність створення відповідної конструкції МОМ.



**Рис. 3. Безрозмірний температурний напір у процесі сушіння за різних способів теплопідведення до МОМ:**

- 1 — конвективне теплопідведення;
- 2 — кондуктивне теплопідведення



**Рис. 4. Области енергоефективного використання конвективного й кондуктивного теплопідведення до МОМ**

Ще одним із способів підвищення інтенсивності процесу сушіння є попереднє нагрівання матеріалу [5]. Ефективність цього технологічного прийому заснована на тому, що підвищення середньої температури матеріалу перед початком сушіння підвищує коефіцієнт внутрішнього масоперенесення, що, як відомо, і визначає загальну тривалість процесу.

Проте у літературних джерелах відсутні обґрунтовані рекомендації з вибору режимів попереднього нагрівання матеріалу, що висушується, виходячи з аналізу енерговитрат. Очевидно, що підвищення середньої температури

матеріалу, з одного боку зменшує тривалість процесу сушіння, але, з іншого — вимагає більшої тривалості прогріву, а отже, й більших загальних енерговитрат на весь процес сушіння.

У зв'язку з цим проведено моделювання попереднього прогріву матеріалу в MOM з метою визначення його впливу на подальший процес сушіння й пошук раціональних режимів загальних енерговитрат.

Варто враховувати, що у випадку застосування MOM із внутрішнім нагрівачем попереднє нагрівання матеріалу буде здійснюватися практично без масообміну, оскільки відсутній обдув модуля повітрям. Тому в цьому випадку такий технологічний прийом набагато ефективніший, ніж при використанні MOM з конвективним підведенням теплоти, коли процес випару вологи в першому періоді сушіння обмежує збільшення швидкості зміни температури матеріалу.

З метою експериментальної перевірки цього факту був поставлений експеримент. Експеримент проводився таким чином: після завантаження MOM виноградною вичавкою однакової маси масообмінний модуль розміщали в сушильній камері й включали його внутрішній нагрівач. Попереднє нагрівання здійснювали при постійній температурі нагрівача  $t_n = 70^\circ \text{C}$  у плинні від 5 до 30 хв із кроком в 5 хв. Потім включався вентилятор і починав обдувати MOM повітрям (без його додаткового підігріву зовнішнім калорифером). Процес сушіння проводили до однакової кінцевої маси, що відповідала 6% вологовмісту.

На рис. 5 наведена кінетика сушіння виноградних вичавок у MOM із внутрішнім трубчастим нагрівачем і попереднім прогрівом продукту.

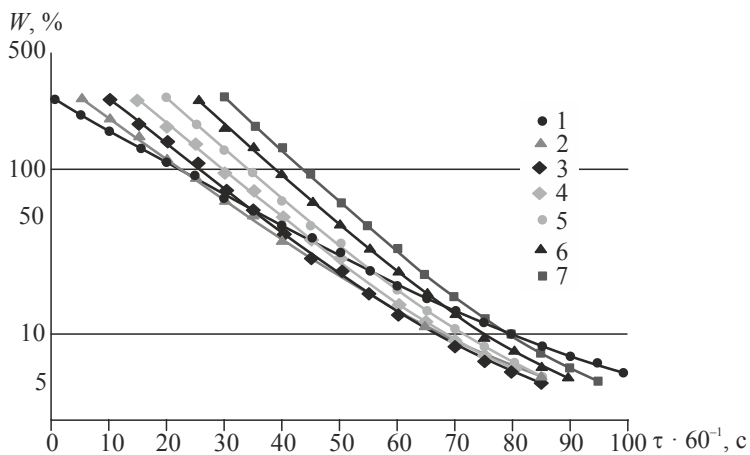


Рис. 5. Кінетика сушіння виноградних вичавок в MOM із внутрішнім трубчастим нагрівачем і попереднім прогрівом продукту: 1 —  $\tau_n = 0$  хв; 2 —  $\tau_n = 5$  хв; 3 —  $\tau_n = 10$  хв; 4 —  $\tau_n = 15$  хв; 5 —  $\tau_n = 20$  хв; 6 —  $\tau_n = 25$  хв; 7 —  $\tau_n = 30$  хв.

Як видно з отриманих кінетичних залежностей, найбільша загальна тривалість процесу (прогрів + сушіння) спостерігається за відсутності попереднього прогріву (крива 1) і при попередньому прогріві MOM протягом 30 хв (крива 7). Аналогічні залежності були отримані при сушінні в MOM з іншими

дослідженими типами нагрівачів. На рис. 6 результати цих експериментів узагальнені у вигляді залежностей загальної тривалості процесу  $\tau = \tau_c + \tau_n$  від тривалості етапу попереднього нагрівання виноградних вичавок  $\tau_n$ .

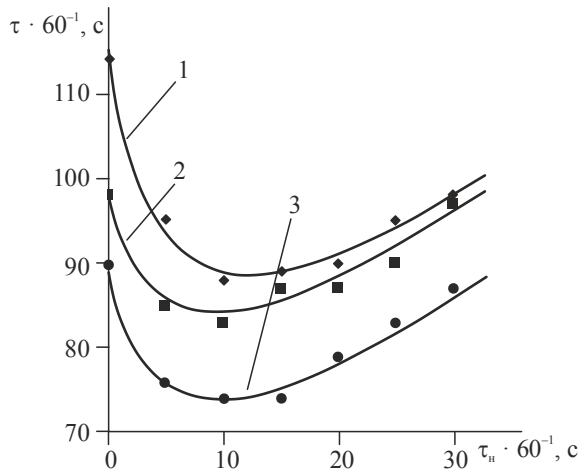


Рис. 6. Вплив тривалості попереднього прогріву виноградних вичавок на загальну тривалість процесу сушіння в МОМ з різними типами внутрішніх нагрівачів: 1 — ППН; 2 — ВПН; 3 — ВТН

Як видно з наведених даних, попередній прогрів скорочує загальну тривалість процесу зневоднювання виноградних вичавок від 15 хв для ВПН до 27 хв для ППН, що становить 13...23% від тривалості сушіння без попереднього прогріву матеріалу. Оптимальна тривалість етапу попереднього прогріву, при якому загальна тривалість процесу мінімальна, становить 10 хв для ВТН і ВПН і 12,5 хв для ППН. Останній результат можна пояснити тим, що у випадку використання поверхневого нагрівача, як показано вище, інтенсивність процесу сушіння нижче внаслідок того, що потоки теплоти й вологи спрямовані в протилежні сторони. Тому матеріал прогривається повільніше й оптимальний час зміщується у бік більших значень.

Одним із головних показників якості продукту після сушіння є вміст у ньому біологічно активних речовин. Кінетика протікання хімічних і біохімічних реакцій визначає зміну харчової й біологічної цінності сировини [6]. Знаючи кінетику протікання цих реакцій, можна робити висновки про вплив режимів сушіння на якість сушеного продукту [7].

Тому отримано уточнене рівняння для визначення констант хімічних реакцій (рис. 7), що викликають зміну вмісту біологічно активних речовин у процесі сушіння що й дозволяє прогнозувати такі зміни при сушінні харчової рослинної сировини.

$$\Delta n_C^* = 100 - A\Theta^a Re^b, \quad (4)$$

де  $\Delta n_C^*$  — відносні втрати вітаміну С у процесі сушіння, %;  $\Theta$  — безрозмірна середня температура нагрівач-повітря  $\Theta = (T_c + T_n) / 2T_0$ ;  $T_c$  — температура повітря, К;  $T_n$  — температура нагрівача, К;  $Re$  — число Рейнольдса, де за

характерний розмір прийнятий еквівалентний діаметр каналу для повітря над масообмінним модулем.

Отримані залежності підтверджують використану для аналізу модель кінетики хімічних реакцій з БАР у процесі сушіння — збільшення середньої температури нагрівач-повітря збільшує втрати БАР, викликані зростанням швидкості хімічної реакції, а збільшення швидкості повітря — зменшує, що пояснюється зменшенням тривалості процесу сушіння, а отже, і тривалості відповідних хімічних реакцій.

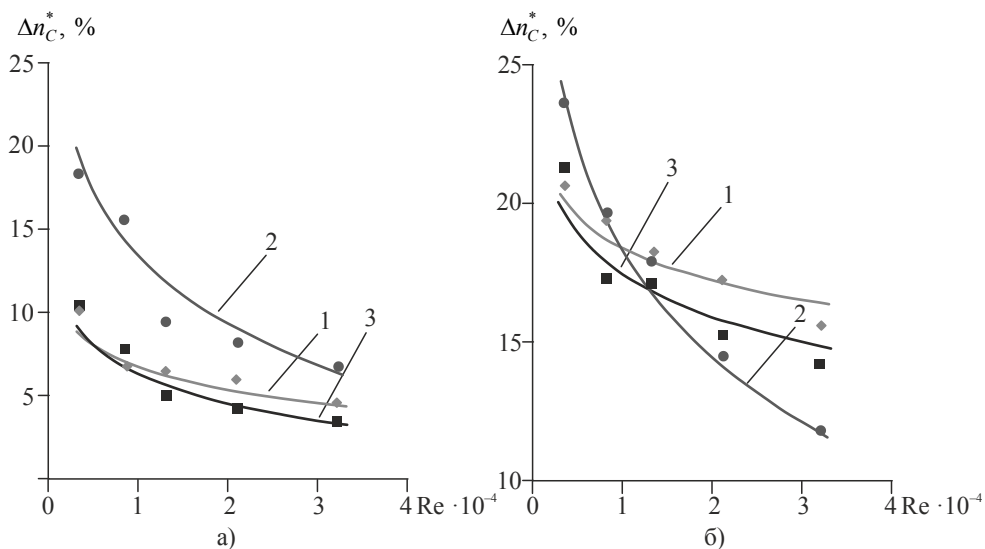


Рис. 7. Втрати вітаміну С під час сушіння виноградних вичавок у MOM залежно від числа Рейнольдса: а)  $T_c = 293 \text{ K}$ ,  $T_n = 307 \text{ K}$ ; б)  $T_c = 327 \text{ K}$ ,  $T_n = 307 \text{ K}$ ; 1 — ВПН; 2 — ППН; 3 — ВТН

Як видно з отриманих залежностей, мінімум втрат аскорбінової кислоти забезпечує MOM із внутрішнім трубчастим нагрівачем і відсутністю додаткового підігріву повітря (рис. 6б). Втрати аскорбінової кислоти в цьому випадку становлять 3...8%, а при використанні повітря з підігрівом до  $90^\circ \text{ C}$  — 12...20%.

### Висновки

Встановлено емпіричну залежність питомої продуктивності MOM із внутрішнім нагрівачем від процесних факторів: пористості заповнення MOM продуктом, потенціалу сушіння, числа Рейнольдса, відносної масообмінної поверхні.

Встановлено, що найменші втрати аскорбінової кислоти в процесі сушіння рослинної термолабільної сировини (на прикладі сушіння виноградних вичавок у MOM) 3...8% спостерігаються у випадку використання внутрішнього плоского або трубчастого нагрівача й повітря без додаткового підігріву.

Показано, що раціональною конструкцією TMOM, яка забезпечує максимальну питому продуктивність є модуль із відносною масообмінною поверх-

нею  $S_M/S = 0,02$ , пористість заповнення продуктом  $\Pi \geq 0,6$ , а мінімальна швидкість повітря в каналі над ТМОМ, що забезпечує стійкий ефект сушіння, відповідає числам Рейнольдса  $Re > 10\ 000$ .

Експериментально підтверджене існування оптимальних режимів попереднього прогріву (на прикладі сушіння виноградних вичавок у МОМ) із різними типами внутрішніх нагрівачів. Показано, що використання режиму попереднього нагрівання збільшує продуктивність МОМ по випаруваній волозі на 20...30% і підвищує коефіцієнт енергоефективності на 25...45% залежно від типу внутрішнього нагрівача.

### **Література**

1. Батури́н А.К. Питание и здоровье: проблемы XXI века / А.К. Батури́н, Г.И. Мендельсон // Пищевая промышленность. — 2005. — № 5. — С. 105—107.
2. Снежкин Ю. Ф. Сравнение различных методов производства пищевых порошков / Ю.Ф. Снежкин, О.А. Кремнев, А.А. Хавин, Г.К. Клименко // Промышленная теплотехника. — 1985. — № 5, т. 7. — С. 4.
3. Погожих Н.И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях : дис. ... д-ра техн. наук спец. 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» / Н.И. Погожих. — Харьков, 2002. — 331 с.
4. Пак А.О. Розробка процесу сушіння плодово-ягідної сировини змішаним теплопідводом зі штучним пороутворенням : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» / А.О. Пак. — Харьков, 2008. — 153 с.
5. Лыков А.В. Тепломассобмен : справочник / А.В. Лыков. — Москва : Энергия, 1971. — 476 с.
6. Сжов В.М. Біотехнологічні основи виробництва білка і пектину з відходів переробки плодів та винограду / В.М. Сжов, Г.Г. Валуйко, О.С. Луканін, І.Р. Клечак. — Київ : Урожай, 1993. — 120 с.
7. Павлюк Р.Ю. Новые технологии биологически активных добавок и их использование в продуктах иммуномодулирующего и радиозащитного действия / Р.Ю. Павлюк, А.И. Черевко. — Харьков; Киев, 2002. — С. 120.



## GENERATION OF ENERGY PULSES IN THE ENVIRONMENTS OF FERMENTATION EQUIPMENT

O. Shevchenko, A. Sokolenko, V. Kostyuk

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Gas-retaining capacity*  
*Saturation*  
*Pulse*  
*Solubility*  
*Gas phase*  
*Mass exchange*

**Article history:**

Received 17.09.2017  
Received in revised form  
04.10.2017  
Accepted 25.10.2017

**Corresponding author:**

O. Shevchenko

**E-mail:**

npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article deals with the peculiarities of the transition processes in gas-liquid media, which are accompanied by changes in the gas-retaining capacity due to the changes in physical pressures in gas-conducting liquids. As a result of the rapid changes in gas-holding capacity in the full volume of the gas-liquid medium, the generation of physical and, simultaneously, energy impulses affecting mass-exchange processes occurs. It is important that these impulses of physical pressures are followed by critical transitions of the level of saturation of the liquid phase with carbon dioxide. A mathematical formalization is proposed that reflects the reaction of media on pressure variables in the form of changes in gas retention capacity. It is determined that the consequence of energy impulses implementation is the rapid desaturation of the environment and the reduction of its osmotic pressure.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-10

---

## ГЕНЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ У СЕРЕДОВИЩАХ БРОДИЛЬНИХ АПАРАТІВ

О.Ю. Шевченко, А.І. Соколенко, В.С. Костюк

Національний університет харчових технологій

*У статті розглянуто особливості перебігу перехідних процесів у газорідних середовищах, які супроводжуються змінами газоутримувальної здатності у зв'язку зі змінами фізичних тисків у газових надрідинних об'ємах. Унаслідок швидкоплинних змін газоутримувальної здатності в повному об'ємі газорідного середовища відбувається генерування фізичних і, одночасно, енергетичних імпульсів, що впливає на масообмінні процеси. Важливо, що після цих імпульсів фізичних тисків відбуваються критичні переходи показника рівня насичення рідинної фази діоксидом вуглецю. Запропоновано математичну формалізацію, яка відображує реакцію середовища на змінні тиски у формі змін газоутримувальної здатності. Визначено, що реалізація енергетичних імпульсів своїм наслідком має швидкоплинну десатурацію середовища і зниження в ньому осмотичних тисків.*

**Ключові слова:** *газоутримувальна здатність, насичення, імпульс, розчинність, газова фаза, масообмін.*

**Постановка проблеми.** Зброджування цукровмісних середовищ супроводжується утворенням діоксиду вуглецю, який на межі поділу фаз «дріжджі–середовище» в молекулярній формі переходить в рідинну фазу. Поступове збільшення концентрації розчиненого  $\text{CO}_2$  завершується утворенням диспергованої газової фази, що супроводжується відповідними енергетичними впливами.

**Метою дослідження** є оцінка перспектив детермінованих впливів на газорідинні середовища для генерування енергоматеріальних імпульсів при використанні внутрішніх потенціалів.

**Викладення основних результатів дослідження.** Накопичення енергетичних потенціалів у формі розчиненого діоксиду вуглецю завершується утворенням диспергованої газової фази в середовищах і збільшенням тиску в об'ємах газових середовищ герметичних технологічних апаратів [1—4]. Приріст такого тиску у своїй динаміці впливає на генерування газової фази відповідно до закону Генрі, за яким розчинність  $\text{CO}_2$ , як і інших газів, пропорційна парціальним тискам:

$$c_n = kP, \quad (1)$$

де  $c_n$  — граничне насичення середовища діоксидом вуглецю,  $\text{кг/м}^3$ ;  $k$  — константа Генрі,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{Па})$ ;  $P$  — парціальний тиск відповідної газової фази, Па.

В умовах технологій бродіння газова фаза у надрідинному об'ємі і диспергована газова фаза представлені лише діоксидом вуглецю, а тому парціальні та фізичні тиски збігаються між собою. Таким чином, у наших умовах величина  $P$  відображує загальне значення тиску.

При цьому важливо, що у своїй дії на газові бульбашки тиски  $P$  є змінними, оскільки вони представлені сумою тисків у газовій фазі над середовищем і гідростатичними тисками в циліндро-конічних апаратах (ЦКА). За спливання газової фази змінні тиски визначаються відповідними координатами кожної з бульбашок. Такі трансформації диспергованої газової фази і відповідних енергетичних потенціалів взаємопов'язані. Якщо наявність газової фази в надрідинному об'ємі має обмежене значення з точки зору масообміну між ними, то перехід до режиму з досягненням критичного або заданого тиску означає спрацювання запобіжних клапанів у технологічному апараті і різке зниження тиску. Ця обставина означає необхідність знову повернутися до закону Генрі, геометрична інтерпретація якого наведена на рис. 1. Лінійна залежність  $c_n = c_n(P)$  зображена з урахуванням кута  $\alpha$ , на основі чого враховується вплив температури. У зв'язку з цим відмітимо, що представлення закону Генрі у формі (1) має класичний вигляд, однак насправді до неї слід ввести добавку, яка враховувала б вплив температури. Таке врахування має привести до форми:

$$c_n = c_n(P, t). \quad (2)$$

На графічних залежностях впливи температури враховуються кутом  $\alpha$ . Це означає, що для фіксованого значення температури зброджуваного середовища  $t = \text{const}$  залежність (1) наводиться у формі, зображеної на рис. 1.

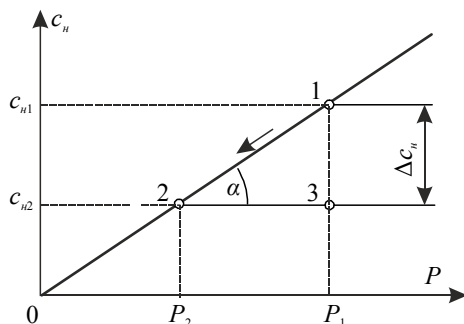


Рис. 1. Залежність між термодинамічними параметрами відповідно до закону Генрі

Припустимо, що системою керування термодинамічних параметрів передбачено досягнення максимального тиску  $P_1 = P_{\max}$  і від моменту його досягнення передбачається зниження до певного значення  $P_2$ . При цьому зниження концентрації розчиненого діоксиду вуглецю повинно скласти  $\Delta c_n$ :

$$\Delta c_n = c_{n1} - c_{n2}. \quad (3)$$

Виділення питомої кількості  $\Delta c_n$  з швидкоплинним перебігом у часі означає таке ж швидкоплинне збільшення утримувальної здатності по  $\text{CO}_2$  з відповідним енергетичним імпульсом. При цьому

$$\Delta c_n = \Delta P \operatorname{tg} \alpha; \quad \Delta P = P_1 - P_2. \quad (4) \text{—} (5)$$

Важливо, що зміна тиску  $\Delta P$  залежить від координат обраних точок 1 та 2. Це означає, що масова питома кількість  $\text{CO}_2$  від перепаду  $\Delta P = \text{const}$  не залежить. Однак об'єм газу, що виділяється, залежить від обраних координат і це означає, що величина газотримувальної здатності також залежить від розташування відповідних прошарків середовища. Очевидно, що газова фаза виділяється у формі масивів диспергованих бульбашок, загальний об'єм яких обчислюємо з використання рівняння Менделєєва-Клайперона:

$$V_{\text{пит.}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{P_{(к)}} RT. \quad (6)$$

При цьому питома маса  $\text{CO}_2$  є відомою, також відомий кінцевий тиск  $P_{(к)}$ , який відповідає обраній координаті  $H$ , тоді

$$P_{(к)} = P_0 + mgH. \quad (7)$$

Тому

$$V_{\text{пит.}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{P_0 + mgH} RT, \quad (8)$$

де  $R$  і  $T$  — універсальна газова стала й абсолютна температура середовища відповідно.

Хоча в цій частині міркувань введено поняття питомого об'єму газової фази  $V_{\text{пит.}}$ , проте очевидно, що величина  $V_{\text{пит.}}$  у нашому випадку є нічим

іншим, як газоутримувальною здатністю, що утворена в результаті різкого і швидкоплинного зниження тиску. Зародження додаткової газоутримувальної здатності відбувається в повному об'ємі газорідинної суміші і має оцінюватися енергетичним впливом такої потужності і якості, які створити іншими засобами і технологіями впливу практично неможливо.

При цьому необхідно підкреслити особливості таких енергетичних проявів: вказане генерування диспергованої газової фази означає наявність енергетичних витрат на утворення міжфазної поверхні, що повинно враховуватися в загальному енергетичному балансі. Одночасно з цим слід назвати ще одну особливість. На відміну від тієї частини газової фази, що існувала і продовжує існувати в новому режимі після енергетичного імпульсу, щойно генерована дисперсна фаза потрапляє в режим перехідного процесу. Існування такого режиму є неминучим, оскільки на нову, зароджену в середовищі бульбашку миттєво розпочинає діяти архімедова сила незалежно від того, в якому стані знаходиться рідинна фаза. У зв'язку з цим починається відносно переміщення газової фази зі зростаючою швидкістю до значення, за якого сила опору середовища стане рівною архімедовій силі.

Оскільки суттєво більша частина генерованого  $\text{CO}_2$  з ЦКА має видалятися, то це вказує на необхідність прийняття рішень про організацію режимів імпульсного енергетичного впливу.

Генерування дисперсної газової фази на фоні вже існуючої означає додатковий розрив суцільності середовища, що супроводжується збільшенням загального об'єму газорідинного середовища і його «набуханням». Останнє означає наявність переміщення кожної складової рідинної маси середовища і всієї маси в цілому. Такий процес є перехідним, оскільки його дія в часі обмежена у зв'язку з різким зниженням енергетичного потенціалу розчиненого газу. Математична модель, яка стосується такого перехідного процесу, може записуватися у формі рівняння руху приведеної маси  $m$  системи:

$$m\ddot{y} = P_{\text{руш.}} - P_{\text{оп.}}, \quad (9)$$

і відповідно до принципу Релея  $m = \frac{1}{3} m_{\text{р.ф.}}$ , де  $m_{\text{р.ф.}}$  — загальна маса рідинної фази;  $P_{\text{руш.}}$  — приведена рушійна Архімедова сила;  $P_{\text{оп.}} = mg$  — сила опору переміщення приведеної маси системи;  $\ddot{y}$  — прискорення приведеної маси.

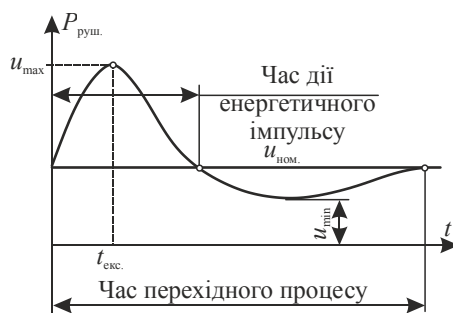
Переміщення приведеної маси системи в перехідному процесі залежить від динаміки зміни рушійної сили, яка може розраховуватися через величину газоутримувальної здатності. Феноменологічні міркування дають змогу зробити припущення про те, що зародження додаткової газоутримувальної здатності теж супроводжується інерційними явищами і тому рушійний фактор  $P_{\text{руш.}}$  у своїй динаміці є функцією часу. Хоча в першому наближенні і з урахуванням того, що перехідний процес за умовою (9) в часі переважає час формування диспергованої газової фази більше ніж на порядок, останнє надає можливість умовно вважати величину  $P_{\text{руш.}}$  після її повного формування змінною у зв'язку з безперервно зменшуваною величиною газоутримувальної

здатності. Перехідний процес складається з двох етапів. Першому відповідає різке зниження тиску в газовій надкритичній фазі від  $P_1$  до  $P_2$  (1) і збільшення сумарного об'єму диспергованої газової фази та газотримувальної здатності. На другому етапі в міру зменшення газотримувальної здатності прискорення  $\ddot{u}$  отримує від'ємний знак і рівень газорідного середовища знижується до мінімуму.

Наступна герметизація зброжуваного середовища призводить до поступового зростання тиску в технологічному апараті, накопичення розчиненого діоксиду вуглецю і до повторного формування диспергованої газової фази. Очевидно, що описаний енергетичний імпульс після свого завершення порушує динаміку відтворення газотримувальної здатності і супроводжується втратою певної частини енергетичного потенціалу перемішування середовища. З цієї точки зору виглядає доцільним обмеження імпульсу по зниженню тиску, що є цілком досяжним, хоча можливими є заходи щодо компенсації втрат за рахунок штучного підвищення газотримувальної здатності.

Права частина рівняння (9) містить у собі силові показники. Раніше було показано, що рушійний фактор визначається величиною газотримувальної здатності і тому  $P_{руш.} = P_{руш.}(u)$ . Оскільки газотримувальна здатність за інших рівних умов є функцією часу, то і рушійна сила також відслідковує її зміни і є функцією часу.

Процес додаткового нарощування газотримувальної здатності є швидкоплинним з досягненням екстремуму за час  $t_{екс.}$  (рис. 2). Сила опору при переміщенні приведеної маси залишається величиною сталою, однак для математичної формалізації правої частини умови (9) необхідним є одержання експериментальних доповнень.



**Рис. 2. Графічна інтерпретація перехідного процесу, пов'язаного з енергетичним імпульсом**

Важливо, що енергетичний імпульс може бути програмованим за величиною і в часі за рахунок регульованої динаміки зниження тиску в газовому об'ємі. Очевидно, що остання може бути представлена різними законами, зокрема лінійними з різними проміжками досягнення екстремального значення  $P_{руш.ек.}$ . У такому випадку на першому етапі отримаємо:

$$P_{\text{руш.}} = P_{\text{руш.}(n)} + k_y t; \quad m\ddot{y} = P_{\text{руш.}(n)} + k_y t - P_{\text{оп.}}, \quad (10) \text{---} (11)$$

де  $k_y$  — коефіцієнт пропорційності, Н/с.

Виконавши заміну  $\ddot{y} = d\dot{y}/dt$ , запишемо, що:

$$d\dot{y} = \frac{P_{\text{руш.}(n)}}{m} dt + \frac{k_y t}{m} dt - \frac{P_{\text{оп.}}}{m} dt. \quad (12)$$

Тут  $P_{\text{руш.}(n)}$  відповідає початковій величині рушійної сили (і початковій величині газотримувальної здатності). Інтегрування умови (12) дає змогу записати:

$$\dot{y} = \frac{P_{\text{руш.}(n)}}{m} t + \frac{k_y t^2}{2m} - \frac{P_{\text{оп.}}}{m} t + C, \quad (13)$$

де  $C$  — стала інтегрування.

Останню знайдемо за початкових умов:

$$t_{(n)} = 0; \quad y_{(n)} = P_{\text{руш.}(n)}; \quad \dot{y}_{(n)} = 0. \quad (14)$$

Тоді остаточно отримаємо:

$$\dot{y} = \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} t + \frac{k_y t^2}{2m}. \quad (15)$$

Повторне інтегрування умови (15) дає змогу записати:

$$y = \frac{dy}{dt}. \quad (16)$$

Здійснивши підстановку (16) і розділивши змінні, отримаємо:

$$dy = \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} t dt + \frac{k_y t^2}{2m} dt.$$

Інтегрування останнього виразу приводить до рівняння:

$$y = \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{k_y t^3}{6m} + C'. \quad (17)$$

За початкових умов (14)

$$C' = P_{\text{руш.}(n)}. \quad (18)$$

Остаточно координата газорідного середовища визначається залежністю:

$$y = P_{\text{руш.}} + \frac{P_{\text{руш.}(n)} - P_{\text{оп.}}}{m} \cdot \frac{t^2}{2} + \frac{k_y t^3}{6m}. \quad (19)$$

За умовою (19) досягається можливість визначення  $y_{\text{max}}$  і максимальної газотримувальної здатності по  $\text{CO}_2$ .

### **Висновки**

1. Наведені міркування вказують на можливий і значний перерозподіл енергетичних потенціалів у газорідних середовищах. Однак створений на першому етапі енергетичний імпульс супроводжується частковою втратою енергетичного потенціалу на другій частині перехідного процесу.

2. Разом з тим зміни в гідродинаміці середовища несуттєво впливають на швидкості генерування газової фази і загальний енергетичний вплив за час перехідного процесу слід очікувати незмінним.

3. У випадках негативних впливів імпульсів слід стабілізувати силові дії, оскільки сили інерції в масивах рухомих середовищ впливають на газову фазу, додатково деформують її, змінюють умови масообміну і газоутримувальну здатність.

4. В умовах реалізації енергетичних імпульсів важливою складовою впливу є швидкоплинна десатурація середовища, яка означає таке ж швидкоплинне зниження осмотичного тиску.

### **Література**

1. Спиртовое брожение. Биохимические этапы спиртового брожения [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://vinograd-vino.ru/protsessy-proiskhodyashchie-pri-izgotovlenii-vina/173-spirtovoe-brozhenie.html>.

2. Шевченко О.Ю. Колігативні властивості культуральних середовищ / О.Ю. Шевченко, А.І. Соколенко, К.В. Васильківський та ін. // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Том 23, № 2. — С. 131—139.

3. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів у харчових технологіях / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, О.Ю. Шевченко та ін. — Київ : Фенікс, 2011. — 536 с.

4. Osmotic pressure in the fermentation media technologies / A. Sokolenko, O. Shevchenko, I. Maksymenko and other // Ukrainian Food Journal. — 2017. — Volume 6. — Issue 1. — P. 134—140.

5. Леус Р.М. Удосконалення процесів стабілізації продукції харчових виробництв: автореф. дис. ... к-та техн. наук: спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / Леус Руслан Миколайович; НУХТ. — Київ, 2013. — 22 с.

УДК 664.643.1

## DESIGN OF OPTIMAL ROLL PARAMETERS FOR ROLLING THE DOUGH

A. Derkach, T. Lisovska, I. Stadnyk

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

---

**Key words:**

*Three phase medium  
Rollers  
Rheology  
Shear strain  
Dough*

---

**Article history:**

Received 18.09.2017  
Received in revised form  
04.10.2017  
Accepted 20.10.2017

---

**Corresponding author:**

A. Derkach

**E-mail:**

[npnuht@ukr.net](mailto:npnuht@ukr.net)

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-11

---

**ABSTRACT**

The article defines rather complex and unpredictable movement of the dough in the gap between the working rolls and suggests the calculation of the optimal parameters for shaping rolls, particularly the parameters and their effect on the dough. The functional dependences of the permissible diameter and the gap between rotating rollers are substantiated. The block diagram of the geometric bounding parameters of the gradient field of the viscous fluid flow is proposed herewith and the equation on the basic constructive parameters ( $h$ ,  $r$ ) affecting the pouring process efficiency is rolled.

## ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАЛКІВ ДЛЯ РОЗКАЧУВАННЯ ТІСТА

A.В. Деркач, Т.О. Лісовська, І.Я. Стадник

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*У статті проведено аналіз дії валків на середовище, розглянуто досить складний і непередбачуваний рух тіста в зазорі між валками та описано методику розрахунків оптимальних параметрів формуючих робочих валків, зокрема визначення впливу конструктивних параметрів на розхід тіста. Обґрунтовано функціональні залежності допустимого діаметра та зазору, утвореного між обертовими валками. Запропоновано блок-схему моделювання геометричних обмежуючих параметрів градієнтного поля течії в'язкої рідини та проведено розв'язування рівняння за основними конструктивними параметрами ( $h$ ,  $r$ ), що впливають на ефективність процесу розкачування.*

**Ключові слова:** *трифазове середовище, валки, реологія, деформація зсуву, тісто.*



**Постановка проблеми.** Одним із основних напрямків раціонального технічного забезпечення процесу формування виробів у різних галузях промисловості є машини з валковими робочими органами. На сьогодні конструкцій валкових робочих органів, які виконують технологічну операцію з нагнітання, транспортування в'язкого середовища, не так багато. Багато з цих машин потребує удосконалення та дослідження з метою впровадження нових розробок у їх виробництво. Особлива увага приділяється малогабаритним ефективним машинам із контрольованими процесами, що відбуваються в робочій камері. При створенні малогабаритних машин особливу увагу необхідно зосередити на обґрунтуванні технологічної схеми та відповідному конструктивному розв'язанні прийнятих рішень, оскільки це суттєво впливає на можливість виготовлення такої машини в умовах підприємств, технологічні можливості яких орієнтовані на ремонт і відновлення техніки [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Машини, які формують в'язке середовище, повинні впливати на нього таким чином, щоб втрати сировини і готової продукції були мінімальними, а якість виробів висока. Це спонукає до необхідності забезпечення повної відповідності режимів обробки, конструктивних форм і параметрів робочих валкових органів структурно-механічним властивостям в'язкого середовища [1; 2]. Поставлена проблема визначила сучасні тенденції конструювання валкових робочих органів у машин різного класу, де вони виконують робочі процеси: розкачування, нагнітання, замішування, транспортування. Винахідники постійно спрямовують свої розрахунки, конструкції на оптимізацію профілю і конструктивних елементів, застосування збірних конструкцій, використання матеріалів і покриттів.

Відставання наукових розробок від потреб практики пояснюється надзвичайно широким діапазоном властивостей технологічних середовищ, різноманіттям використовуваних матеріалів для їх транспортування і відмінністю умов їх експлуатації. Крім того, дослідження розкачування в'язкого середовища валками пов'язане з певною складністю через необхідність залучення до розв'язання проблем сучасних знань і методів з різних галузей науки: фізико-хімічної механіки матеріалів, фізики твердих тіл, металознавства тощо.

Традиційні способи розкачування в'язкого середовища валками в основному базуються на комбінації двох методів деформаційного навантаження — стисненні нагнітаючого середовища в квазістатичному і динамічному режимах, причому деформується весь об'єм трифазового середовища [1—3]. Відомо, що вузол подачі тіста формувальної машини складається з бункера 1 для завантаження тіста, нагнітальної камери 2, виконаної з двох рифлених валків 3, встановлених паралельно з можливістю проходження тіста між ними. Нова форма поверхні валків виконана у вигляді циліндрично-гвинтових із постійним по довжині кроком гвинтових ліній. Тому будь-яку зі структурних схем, існуючих та розроблених (рис. 1) за участі валкових робочих органів, можна математично описати за наявності рівнянь, що зв'язуються у часі безперервними функціями. До них відносяться геометричні розміри обладнання та характеристики робочих валків, а також властивості і фізико-механічний стан в'язкого середовища.

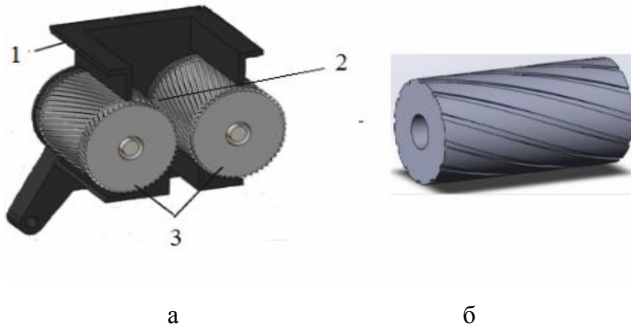


Рис. 1. Схеми: а — вузла нагнітання: 1 — бункер; 2 — нагнітальна камера; 3 — рифлені валки; б — новий валок

**Метою статті** є розробка методів визначення впливу конструктивних параметрів валків при горизонтальному розкачуванні.

**Викладення основних результатів дослідження.** Визначення руху середовища в зазорі між валками є досить складною і в той же час практично важливою проблемою, що пов'язана з необхідністю проведення розрахунків формуючих робочих валків, в даному випадку визначення їх дії на середовище. Для вирішення такого класу задач необхідно залучити алгебру логіки і теорію множини, властивості середовища, що дають змогу розглядати компоновання як упорядковану множину робочих ланок, а різноманітні їх сполучення — як логічні відношення елементів цієї множини [5]. У загальному випадку ці задачі є багатоекстремальними і тому потребують глобального екстремуму. При виборі кращого варіанта визначення впливу конструктивних параметрів валків вибрано метод розставлення пріоритету — якісної оцінки варіантів. Вирішення поставлених завдань можливе на основі ретельного вивчення суті процесу, що відбувається під час розкачування. Вивчення праць [1; 2; 4] показало, що нерівномірність швидкості руху середовища (бубличного, дріжджового, пшеничного тіста) обумовлена характером течії. Тому суттєвим фактором збільшення ефективності інтенсивної дії валків на середовище є рівномірність розкачування його елементарних об'ємів, що надходять із робочої камери машини. Виходячи із допущень, що питома подача середовища є однаковою для всіх елементарних об'ємів маси, що знаходяться в зазорі між валками, в'язкість залишається постійною, тому при розрахунках її не враховували.

Розглянемо процес розкачування (рис. 2). Валки однакових діаметрів обертаються назустріч один одному при стаціонарному ізотермічному русі середовища (пшеничного тіста).

Інерційними властивостями ми нехтуємо. Розхід середовища є нечітким (розмитим). В основі його величини із центром ваги  $G$ . Така функція має вигляд:

$$J(Par, A, B) = e^{A \cdot (B - Par)^2}. \quad (1)$$

Її представлення шукатимемо у вигляді експоненціальної симетрії відносно точки аргументу (параметрів робочого процесу  $Par$ ). Тобто  $J(Par) = G$ . Неві-

домі коефіцієнти в рівнянні (1)  $A$  та  $B$  будуть визначені для кожного випадку функції приналежності  $J$  методом найменших квадратів. Розв'язування рівняння проводимо за основними конструктивними параметрами ( $h$ ,  $r$ ), що впливають на ефективність процесу розкачування.

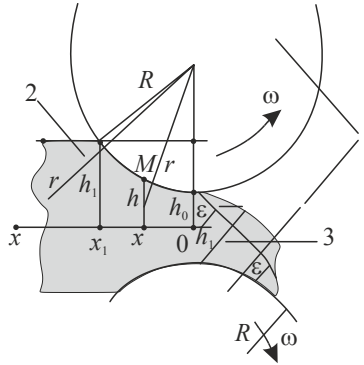


Рис. 2. Профіль схеми розкатки тіста між валками: 1 — обертові валки радіуса  $R$ , половинна відстань між якими  $h_0$ ; 2 — потік тіста половинної товщини  $h$  на вході робочої камери; 3 — розкатане тісто після проходження валків

1. Теоретичні результати розрахунку для випадку дії зазору між валками.

Проводимо дослідження параметрів функції приналежності  $J_\mu(h)$  теоретичної швидкості втрат розходу  $G(h)$  в'язкого середовища на валках відносно зазору  $h$  між ними у мм. Формуємо розподіл нечіткої величини розходу  $J_\mu$  за параметром зазору  $h$  на інтервалі 1...5.5 мм за приналежністю даного фактора 0,62, близького до центра зазору. У даному випадку найвищий рівень досягає 0,92 у центрі рухомого середовища при  $h = 3,6$ мм, що визначалося серією замірів.

Заміри проводили після кожного циклу нагнітання маси тіста на формувальні пристрої. Відбирали сформовані заготовки і зважували їх. Відповідно, отримали картину руху маси тіста в зазорі між валками при однакових діаметрах і частоті обертання. Два центральні сформовані кусочки тіста мали майже однакову вагу, а заготовки, сформовані боковими пристроями, мали деякі відхилення, тому по краях рівень найменший — 0,1. Тоді

$$J_\mu = \left( \begin{array}{cccccccccccccccc} 1 & \dots & 2,5 & \dots & 3 & \dots & 3,6 & \dots & 4,5 & \dots & 5 & \dots & 5,5 \\ 0,1 & \dots & 0,26 & \dots & 0,48 & \dots & 0,92 & \dots & 0,4 & \dots & 0,22 & \dots & 0,1 \end{array} \right). \quad (2)$$

Для практичного використання виразу (1) необхідно обчислити конкретні значення параметрів  $A$  та  $B$ . Застосуємо оператор найменших помилок програми MathCAD-14. Надаємо найбільш близькі до експертних початкових значень для використання блоку Given — Minerr:

$$n := \text{cols}(J_\mu) \quad n := 7 \quad B := 3,6 \quad A := -0,01$$

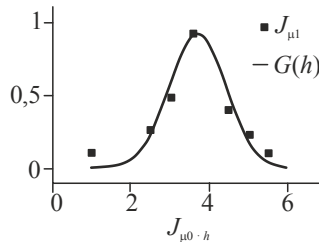
$$\text{Given } \sum_{i=0}^{n-1} \left( J_{\mu,i} - G(J_{\mu_0,i}, A, B) \right)^2 = 0$$

$$\begin{pmatrix} A_h \\ B_h \end{pmatrix} = \text{Minerr}(A, B) \quad \begin{pmatrix} A_h \\ B_h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,954 \\ 3,718 \end{pmatrix}.$$

Таким чином, теоретична залежність швидкості розходу в'язких мас згідно з (1) має такий вигляд:

$$G(h) = e^{-0,95 \cdot (3,72 - h)^2}. \quad (3)$$

На основі проведених розрахунків побудуємо графік функції  $G(h)$  згідно з (2) (рис. 3).



**Рис. 3. Функція приналежності  $G(h)$  втрат розходу  $J_{\mu}$  в'язкого середовища по площині валків ( $h, x$ )**

На рис. 4 точками представлено графік обчислених теоретичних величин, а квадратиками — дослідні дані з валкової машини. Із графічної залежності випливає, що зазор дійсно впливає на якість процесу. Свої найсприятливіші значення функція розходу для міжвалкового зазору  $h$  має в межах 3...4,2 мм. Ці значення визначають ефективність процесу розкачування. Теоретичні розрахунки показали, що їх величини є досягненням точності взаємозв'язку розходу із зазором. Порівняння з дослідними даними достатньо збігаються з розподілом середовища в зазорі по довжині валків.

Функцію приналежності розходу  $GG(h)$  у площині валків шукаємо як нормовану величину. Проводимо перевірку нормування по стандарту  $G = 9,7$  (дослідні дані) і підбираємо  $C$  у формулі функції приналежності, вибираючи інтервал зміни аргументу  $h$ :  $h_0 = 1 \dots h_m = 7$ :

$$S = \int_{h_0}^{h_m} GG(h) dh$$

$$S = 9,664.$$

З розрахунків випливає, що підбір наших констант задовольняється початковими умовами, накладеними на розхід  $G = S$  із відповідним технології ступенем точності:

$$GG(h) = \begin{cases} C \cdot (1 - G(h)) & \text{if } 0 \leq h \leq 7 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (4)$$

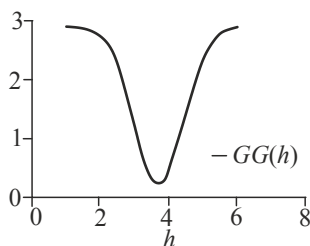


Рис. 4. Функція приналежності  $GG(h)$  розходу в'язкого середовища

2. Теоретичні результати розрахунку для випадку дії параметрів радіус-вектора точки в'язкого середовища відносно осі валків.

Проведемо оцінювання параметрів функції приналежності швидкості нечіткої величини розходу в'язкого середовища між валками відносно модуля радіус-вектора, що сполучає вісь валка і точки в'язкого середовища (рис. 3). Спостереження точки на струмені розходу у площині валка фіксуємо в мм. Принцип обчислень аналогічний пункту 1.

$$F_{\mu} = \begin{pmatrix} 155 & 158 & 161 & 164 & 167 & 170 & 175 \\ 0,14 & 0,36 & 0,6 & 1 & 0,66 & 0,32 & 0,11 \end{pmatrix}$$

$$n = \text{cols}(F_{\mu}) \quad n = 7 \quad B = 164 \quad A = -0,01$$

Функцію приналежності розходу  $GG(r)$  у площині валків шукаємо як нормовану величину. Проводимо перевірку нормування по стандарту  $G = 9,7$  і підбираємо  $CC$  у формулі функції приналежності, вибираючи інтервал зміни аргументу  $r$ :  $r_0 = 155 \dots r_m = 175$ . Отримуємо формулу залежності розходу середовища від параметра  $r$ :

$$GG(r) = 0,99 \cdot e^{-0,032 \cdot (163,862 - r)} \quad (5)$$

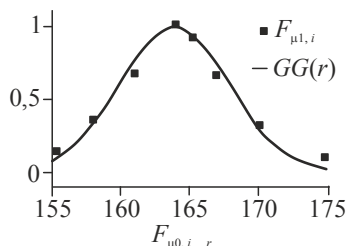


Рис. 5. Графіки залежності розходу середовища від радіус-вектора точки середовища відносно осі валка

Графік залежності (5), приведений на рис. 5, свідчить про найвищу ступінь приналежності в межах 162...168 мм.

3. Забезпечення умов спільного виконання умов впливу параметрів зазору  $h$  та радіус-вектора  $r$ .

Операція визначення функції приналежності спільного впливу двох факторів виконується шляхом логічного добутку приналежностей через мінімізацію двох визначених функцій по двовимірній області двох факторів  $r$  та  $h$ :

$$GG(h, r) = \min(GG(h), GG(r)).$$

Для забезпечення точності розрахунків вирішуємо проблему грубозернистості аргумента шляхом вибору числа  $N$  кількості точок поділу діапазону зміни  $r$  та  $h$ . Графіки нечіткої функції розходу середовища по області зміни двох аргументів на площині  $(r, h)$  приведені на рис. 6а — тривимірний та 6б — лінії рівня. Нижня та верхня грані графіка відповідають, відповідно, поверхневому та міжповерхневому руху середовища між валками.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що біля поверхонь валків відбувається найбільший рух середовища, який змінюється по параметру зазору  $h$  в бік зменшення центральної міжвалкової осі. Цей особливий рух середовища можна розділити на дві стадії. Перша — це адгезійний контакт середовища із поверхнею валків з одержання валкової обертової швидкості. Вона змінюється з віддалю від валкової поверхні. На цій стадії рух визначальним фактором є діаметри валків. Друга стадія руху — міжвалковий змінний рух кількості середовища. На цій стадії утворюється своєрідний рух, де наявна досить велика впадина, і рух має частково протилежний характер (рис. 6). Визначальним параметром є зазор.

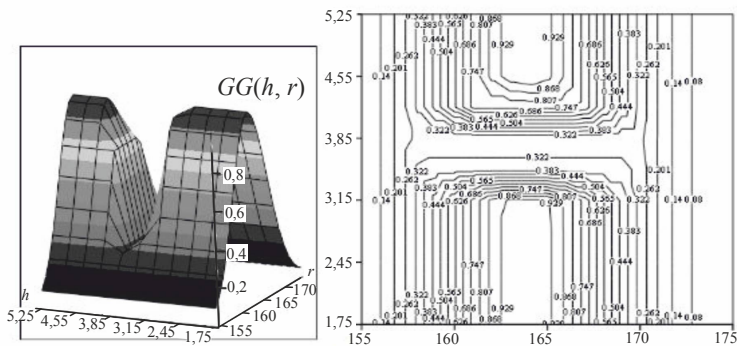


Рис. 6. Графіки нечіткої функції розходу середовищ: а — тривимірний; б — лінії рівня

### Висновки

На основі запропонованої методики визначення впливу конструктивних параметрів на розхід тіста обґрунтовано функціональні залежності допустимого діаметра та зазору. Так, для забезпечення раціонального розходу тіста теоретично визначено межі конструктивних параметрів: діаметр валків 155...165 мм; зазор 1,5...3,4 мм.

Використання запропонованої методики визначення характеру руху середовища можна використовувати при проектуванні валкового нагнітача при подачі маси тіста (тістоподільні машини, формовочні машини), при дозуванні, замішуванні тощо.

Результати досліджень сприяють розвитку гідромеханіки нелінійних середовищ, теоретичних основ процесу інтенсивного руху. Рух симетрично знижується в процесі дії валків, але свої максимальні значення має біля їх поверхонь, що підтверджує активний адгезійний вплив.

**Література**

1. Стадник І.Я. Моделивання руху змішуваних компонентів у камері безлопатевої тістомісильної машини / І.Я. Стадник, М.М. Луців // *Хранение и переработка зерна*. — 2011. — № 2. — С. 58—60.
2. Мачихин Ю.А. Формование пищевых масс [Текст] / Ю.А. Мачихин, Г.К. Берман, Ю.В. Клаповский. — Москва : Колос, 1992. — 272 с.
3. Мачихин Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. — Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 216 с.
4. Николаев Б.А. Структурно-механические свойства мучного теста [Текст] / Б.А. Николаев. — Москва : Пищевая промышленность, 1976. — 247 с.
5. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов. — Москва : Наука, 1976. — 300 с.

## MODEL OF HEAT EXCHANGE KINETICS DURING THE MICROWAVE PROCESSING OF FOOD RAW MATERIALS

**I. Babanov**

*National University of Food Technologies*

**V. Potapov, S. Prasol, A. Shevchenko**

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

---

**Key words:**

*Heat transfer  
Model  
Equation  
Microwave  
Moisture  
Pressure  
Temperature*

---

**ABSTRACT**

The processes of microwave processing of food raw materials are quite complex for theoretical modeling, since, in terms of the thermodynamics of irreversible processes, this is a series of associated phenomena of mass transfer, energy, momentum under heterogeneity and nonlinearity of a heterogeneous medium. The lack of systematic approaches in obtaining the models often leads to gross errors and, as a consequence, to inaccurate experimental data. Usually it is assumed that the main mass transfer is carried out not by the concentration of moisture diffusion, but by the influence of thermal diffusion, and the filtration transfer can be neglected. The authors propose a kinetic model of heat and mass transfer processes under the influence of microwave fields on food raw materials, which takes into account the filtration mass transfer under the action of the pressure gradient that occurs in the volume of the body. The equations describing the kinetics of moisture content, pressure and temperature on the product are obtained. The model of heat and mass transfer kinetics in the process of microwave processing allows calculating the change of moisture content, pressure and temperature of the product. This enables to conduct an effective analysis of technological processes using electromagnetic fields in order to find rational technological regimes and improve the equipment calculation.

---

**Article history:**

Received 17.09.2017

Received in revised form  
04.10.2017

Accepted 20.10.2017

---

**Corresponding author:**

I. Babanov

**E-mail:**

[npnuht@ukr.net](mailto:npnuht@ukr.net)

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-12

---

## МОДЕЛЬ КІНЕТИКИ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ НВЧ-ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

**І.Г. Бабанов**

*Національний університет харчових технологій*

**В.О. Потапов, С.В. Прасол, А.О. Шевченко**

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

*Процеси мікрохвильової (НВЧ) обробки харчової сировини достатньо складні для теоретичного моделювання, оскільки, з точки зору термодинаміки необоротних процесів, це ряд пов'язаних явищ переносу маси, енергії, імпульсу в*



умовах неоднорідності та нелінійності гетерогенного середовища. Відсутність системного підходу при отриманні моделей часто призводить до грубих помилок і, як наслідок, поганої адекватності з експериментом. Зазвичай, роблять припущення, що основний масоперенос здійснюється не концентраційною дифузією вологи, а впливом термодифузії, і фільтраційним перенесенням можна знехтувати. У статті запропоновано кінетичну модель тепломасообмінних процесів при впливі НВЧ-поля на харчову сировину, яка враховує фільтраційний масоперенос під дією градієнта тиску, що виникає в обсязі тіла. Отримано рівняння, що описують кінетику вмісту вологи, тиску і температури у процесі впливу НВЧ-поля на продукт. Модель кінетики тепломасопереносу в процесі НВЧ-обробки дає змогу розраховувати зміну вмісту вологи, тиску і температури продукту. Це забезпечує проведення ефективного аналізу технологічних процесів із застосуванням електромагнітних полів з метою пошуку раціональних технологічних режимів і вдосконалення розрахунку обладнання.

**Ключові слова:** тепломасообмін, модель, рівняння, НВЧ, волога, тиск, температура.

**Постанова проблеми.** Процеси, які відбуваються під час обробки харчової сировини у полі НВЧ, достатньо складні для теоретичного аналізу, оскільки з точки зору термодинаміки необоротних процесів — це ряд пов'язаних явищ переносу маси, енергії, імпульсу в умовах неоднорідності і нелінійності гетерогенного середовища. Тому на практиці для отримання співвідношень, які використовуються в технологічних та інженерних розрахунках, використовуються кінетичні моделі, отримані при ряді спрощуючих положень. Однак відсутність системного підходу при отриманні таких моделей часто призводить до грубих помилок у складаних моделях і, як наслідок, поганої адекватності з експериментом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [1; 2] при отриманні рівнянь кінетики зміни вмісту вологи матеріалу робиться припущення про те, що основний масоперенос здійснюється за допомогою концентраційної дифузії вологи, а впливом термодифузії і фільтраційним перенесенням можна знехтувати. Внутрішній потік вологи в тілі описується рівнянням А.В. Ликова:

$$j_m = -\rho_0 a_m \nabla w - \rho_0 a_{mT} \nabla T - \rho_0 a_p c_p^a \nabla p, \quad (1)$$

де  $\rho_0$  — об'ємна концентрація сухих речовин;  $\nabla w$  — градієнт вологовмісту;  $\nabla T$  — градієнт температури;  $\nabla p$  — градієнт тиску;  $a_m$  — коефіцієнт дифузії вологи;  $a_{mT}$  — коефіцієнт термодифузії вологи;  $a_p$  — коефіцієнт конвективної фільтраційної дифузії;  $c_p^a$  — коефіцієнт ємності вологого повітря у пористому тілі.

Зроблене вище припущення визначає відкидання двох останніх членів у рівнянні (1). Постає закономірне запитання: як пояснити істотну інтенсифікацію масопереносу при НВЧ-сушінні в рамках зроблених припущень. Аналіз експериментальних даних про коефіцієнти дифузії, що входять у рівняння

(1), показує, що відношення  $a_{mT} / a_m < 10^{-2} \dots 10^{-3}$ ,  $a_p / a_m > 10 \dots 100$  [3]. Тому єдиним джерелом інтенсифікації масопереносу при НВЧ-обробці є градієнт надлишкового тиску пари, що виникає всередині тіла. Як відомо, при досить великій питомій потужності електромагнітного поля всередині тіла можливе його механічне пошкодження. Тому опис кінетики тиску в процесі НВЧ-обробки є актуальним науково-технічним завданням.

**Метою статті** є отримання фізично коректної та експериментально адекватної моделі кінетики тепломасобмінних процесів при обробці харчової сировини в полі НВЧ, що враховує зміну тиску пари всередині оброблюваного продукту.

**Викладення основних результатів дослідження.** У [4] викладена загальна концепція опису кінетики сполучених явищ перенесення колоїдних капілярно-пористих тіл, в тому числі для харчової сировини. В основу фізичної моделі покладено уявлення про гетероенергетичний стан вологи, описаний у термінах «вільна», «пов'язана» волога, та облік фізично значущих рушійних сил перенесення. Математична модель кінетики ґрунтується на рівнянні збереження і перенесення фізичної субстанції (маси, енергії, імпульсу):

$$R_V \frac{d\Psi}{d\tau} = -K \cdot \Delta\Psi - v \cdot \Psi + R_V \cdot I, \quad (1)$$

де  $R_V = V/S$  — відношення об'єму тіла до його поверхні;  $\Psi$  — об'ємна концентрація фізичної субстанції;  $\Delta\Psi$  — потенціал переносу фізичної субстанції;  $K_{ij} = 1/\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i$  — матриця кінетичних коефіцієнтів;  $v$  — вектор швидкостей конвективного переносу;  $I$  — вектор внутрішніх джерел (стоків) субстанції.

$$\Delta\Psi_{ij} = \sum_j \frac{1}{\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i} (\bar{\Psi}_j - \bar{\Psi}_{\infty j}), \quad (2)$$

де  $\bar{\Psi}_{\infty j}$  — рівноважне значення субстанції при  $\tau \rightarrow \infty$ ;  $i, j = 1 \dots n$ ;  $n$  — кількість фізичних параметрів стану вологого тіла;  $\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i$  — коефіцієнт опору, який складається із суми опору зовнішнього і внутрішнього переносу, для потоку  $i$ -ої субстанції, викликаного  $j$ -ім потенціалом перенесення.

$$\mathfrak{R}_{\Psi_j}^i = \frac{R_V}{\lambda_{\Psi_j}^i} + \frac{1}{\alpha_{\Psi_j}^i}, \quad (3)$$

де  $\lambda_{\Psi_j}^i$  — коефіцієнт потенціалу провідності;  $\alpha_{\Psi_j}^i$  — коефіцієнт потенціалу обміну.

Використовуючи рівняння (1—3), отримаємо рівняння кінетики масопереносу при НВЧ-обробці. Фізичною субстанцією при масопереносі є вологовміст, тому  $\Psi = \rho_0 w$ . Джерело маси відсутнє  $I_m = 0$ . Дифузійним переносом під дією градієнта вологовмісту і температури нехтуємо. Конвективне перенесення вологи здійснюється під дією надлишкового тиску. Відповідно до

закону Дарсі, коефіцієнт опору фільтраційному потоку складає  $\mathfrak{R} = \frac{R_V}{\rho_0 a_p c_p^a}$ ,

тому

$$R_V \rho_0 \frac{dw}{d\tau} = - \frac{\rho_0 a_p c_p^a}{R_V} \Delta p, \quad (4)$$

де  $\Delta p$  — надлишковий тиск пари у вологому тілі;  $\Delta p = p - p_\infty$  ( $p$  — середній по об'єму тіла тиск,  $p_\infty$  — тиск у навколишньому середовищі).

Рівняння фільтраційного переносу вологи під дією градієнта тиску газу всередині тіла отримаємо на підставі рівнянь (1—3) з таких міркувань: фізичною субстанцією є маса вологого повітря в одиниці об'єму пористого тіла, що відповідає поточному тиску  $p$ :

$$\Psi = \rho_0 w_a = \rho_0 c_p^a p, \quad (5)$$

де  $w_a$  — зміст вологого повітря в порах тіла, яке наведено А.В. Ликовим стосовно співвідношення

$$dw_a = c_p^a dp, \quad (6)$$

де  $c_p^a$  — коефіцієнт ємності вологого повітря в пористому тілі.

Дифузійним перенесенням нехтуємо і вважаємо, що конвективний переніс описується законом Дарсі. Джерело маси в даному випадку обумовлено випаровуванням вологи в капілярах тіла під дією надвисокочастотного поля. Тому

$$I = \frac{Q_V}{r}, \quad (7)$$

де  $Q_V$  — питома потужність діелектричних втрат;  $r$  — прихована теплота пароутворення води.

$$Q_V = 2\pi f \varepsilon_0 \varepsilon'' E^2, \quad (8)$$

де  $\varepsilon_0$  — електрична стала;  $f$  — частота НВЧ-поля;  $\varepsilon''$  — уявна частина відносної діелектричної проникності;  $E$  — напруженість НВЧ-поля.

Відомо, що діелектрична проникність залежить від вмісту вологи. Вважаючи, що така залежність лінійна, запишемо:

$$\varepsilon'' = \chi w, \quad (9)$$

де  $\chi$  — емпіричний коефіцієнт, який визначається на підставі експериментальних залежностей діелектричних характеристик від вмісту вологи продукту.

Розрахунок електричного поля у формулі (8) являє собою складне електродинамічне завдання, особливо в разі навантаженого багатомодового резонатора, який найчастіше використовується як НВЧ-пристрій для обробки матеріалу. Якщо навантаження резонатора перебуває в оптимальних межах, то питому потужність діелектричних втрат можна розрахувати за формулою:

$$Q_V = P_{CBЧ} / V, \quad (10)$$

де  $P_{CBЧ}$  — потужність НВЧ-генератора;  $V$  — об'єм тіла.

Вважаючи, що початкове завантаження НВЧ-камери є оптимальним, на основі рівнянь (8—10) отримуємо:

$$Q_V = \frac{\chi w}{\varepsilon''(0)} \frac{P_{CBЧ}}{V}, \quad (11)$$

де  $\varepsilon''(0)$  — уявна частина відносної діелектричної проникності в початковий момент часу НВЧ-обробки.

З урахуванням цього рівняння кінетики тиску набуває такого вигляду:

$$R_V \rho_0 c_p^a \frac{dp}{d\tau} = - \frac{\rho_0 a_p c_p^a}{R_V} \Delta p + R_V \frac{\chi w}{\varepsilon''(0)} \frac{P_{CBЧ}}{V}. \quad (12)$$

Введемо безрозмірні вологовміст і тиск  $w^* = w / w_0$ ,  $p^* = \Delta p / \Delta p_{\max}$ , де  $w_0$  — початковий вологовміст,  $\Delta p_{\max}$  — максимальний тиск всередині матеріалу.

Представимо систему кінетичних рівнянь у такому вигляді:

$$\frac{dw^*}{d\tau} = - Ra k_{22} p^*; \quad (13)$$

$$\frac{dp^*}{d\tau} = k_{21} w^* - k_{22} p^*, \quad (14)$$

де кінетичні коефіцієнти мають розмірність  $c^{-1}$ .

$$k_{21} = \frac{1}{Ra} \frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r}. \quad (15)$$

$$k_{22} = \frac{a_p}{R_V^2}, \quad (16)$$

де  $Ra = c_p^a \Delta p_{\max} / w_0$  — критерій Рамзіна;  $Q_m$  — питома потужність на 1 кг сухої речовини;  $Q_m = P_{CBЧ} / m_c$  ( $m_c$  — маса сухих речовин у продукті).

Рішення системи рівнянь (13)—(14) має такий вигляд:

$$w^*(\tau) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Ra-1}{\sqrt{1+Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}} \right) e^{-\beta_1 \tau} + \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{Ra-1}{\sqrt{1+Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}} \right) e^{-\beta_2 \tau} \quad (17)$$

$$p^*(\tau) = \frac{1}{2} \frac{k_{21}}{k_{22}} \frac{1}{\sqrt{1+Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}} (e^{-\beta_1 \tau} - e^{-\beta_2 \tau}), \quad (18)$$

де  $\beta_1 = \frac{1}{2} k_{22} \left( 1 - \sqrt{1+4Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}} \right)$ ,  $\beta_2 = \frac{1}{2} k_{22} \left( 1 + \sqrt{1+4Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}} \right)$ .

Рівняння (17—18) описують кінетику зміни вмісту вологи і тиску в процесі НВЧ-обробки продукту. Отримаємо вираз для величини максимального надлишкового тиску парогазової суміші. Оскільки внутрішні джерела виникають миттєво при включенні НВЧ-поля, то такий максимум досягається при малих термінах часу. Тому, розкладаючи вираз  $dp^*/d\tau = 0$  при  $\tau \rightarrow 0$  і, обмежувшись лінійним членом, отримуємо час досягнення максимального тиску:

$$\tau_{kp} = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2} = \frac{1}{k_{22}}. \quad (19)$$

Максимальне значення тиску парогазової суміші при цьому становить:

$$\max(p^*) = \frac{1}{4} \frac{k_{21}}{k_{22}} \frac{\sqrt{1 + 4 \text{Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}}}{\sqrt{1 + \text{Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}}}. \quad (20)$$

З огляду на те, що для безрозмірного тиску  $\max(p^*) = 1$ , а також для виразу кінетичних коефіцієнтів  $k_{12}$ ,  $k_{22}$  з рівняння (20) знаходимо зв'язок критерію Рамзіна і режимів НВЧ-обробки:

$$\text{Ra} = \frac{R_V^2}{4a_p} \frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r} \frac{\sqrt{\frac{a_p}{R_V^2} + 4 \frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r}}}{\sqrt{\frac{a_p}{R_V^2} + \frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r}}}. \quad (21)$$

Як видно з рівняння (21), максимальний тиск газу всередині тіла в процесі НВЧ-обробки зростає зі збільшенням НВЧ-потужності і характерних розмірів тіла та зменшується зі збільшенням коефіцієнта конвективно-фільтраційної дифузії. При відомих структурно-механічних характеристиках останній вираз дає змогу оцінювати гранично допустиму потужність НВЧ-установки, при якій зберігається механічна цілісність продукту.

Використовуючи рівняння (1—3), отримуємо рівняння кінетики температури при НВЧ-обробці харчової сировини. Переносною фізичною субстанцією є внутрішня енергія, тому  $\Psi = \rho_0 c T$ . Потужність внутрішнього потоку теплоти дорівнює  $I_c = -r \rho_0 dw / d\tau$ , потужність внутрішнього джерела тепла дорівнює  $I_i = Q_V$ , конвективним теплопереносом нехтуємо. З урахуванням цього отримуємо кінетичне рівняння:

$$R_V \rho_0 c \frac{dT}{d\tau} = -\frac{1}{\mathfrak{R}_T} \Delta T - R_V \rho_0 r \frac{dw}{d\tau} + R_V Q_V, \quad (22)$$

де

$$\mathfrak{R}_T = \frac{R_V}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_T}, \quad (23)$$

де  $T$  — середня по об'єму тіла температура;  $c$  — наведена питома теплоємність;  $\lambda_T$  — коефіцієнт теплопровідності;  $\alpha_T$  — коефіцієнт теплообміну.

Уведемо безрозмірну температуру  $T^* = \Delta T / \Delta T_0 = (T - T_\infty) / (T_0 - T_\infty)$ , де  $T_\infty$  — температура навколишнього середовища;  $T_0$  — початкова температура тіла, та приведемо рівняння (22) до безрозмірного виду:

$$\frac{dT^*}{d\tau} = -k_{31}\theta - \text{Ko} \frac{dw^*}{d\tau} + \text{Ko} \frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r} w^*, \quad (24)$$

де  $k_{31} = \frac{a}{R_V^2} \frac{\text{Bi}}{1 + \text{Bi}}$ ;  $\text{Ko} = r(w_0 - w_\infty) / (c\Delta T_0)$  — критерій Коссовича.

Підставляючи в рівняння (24) отримані рішення для кінетики вологовмісту (17), отримаємо просте неоднорідне диференціальне рівняння, рішення якого має такий вигляд:

$$T^*(\tau) = (1 - C_1 - C_2)e^{-k_{31}\tau} + C_1e^{-\beta_1\tau} + C_2e^{-\beta_2\tau}, \quad (25)$$

де

$$C_1 = \frac{\text{Ko}}{2} \left( 1 - \frac{\text{Ra} - 1}{\sqrt{1 + \text{Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}}} \right) \left( \frac{\frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r} + \beta_1}{k_{31} - \beta_1} \right);$$

$$C_2 = \frac{\text{Ko}}{2} \left( 1 + \frac{\text{Ra} - 1}{\sqrt{1 + \text{Ra} \frac{k_{21}}{k_{22}}}} \right) \left( \frac{\frac{\chi}{\varepsilon''(0)} \frac{Q_m}{r} + \beta_2}{k_{31} - \beta_2} \right).$$

### **Висновки**

Таким чином, запропонована модель кінетики тепломасопереносу в процесі НВЧ-обробки дає змогу розраховувати зміну вмісту вологи, тиску і температури продукту. Це забезпечує проведення ефективного аналізу технологічних процесів із застосуванням електромагнітних полів з метою пошуку раціональних технологічних режимів і вдосконалення обладнання.

### **Література**

1. *Рогов И.А.* Сверхвысокочастный нагрев пищевых продуктов / И.А. Рогов, С.В. Некрутман. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 351 с.
2. *Беляев М.И.* Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов / М.И. Беляев, П.Л. Пахомов. — Харьков : ХИОП, 1991. — 160 с.
3. *Потапов В.А.* Экспериментальное определение движущих сил кинетики сушки / В.А. Потапов, Н.И. Погожих, Н.М. Цуркан // Труды Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)». — Т. 2. — Москва : МГАУ. — 2002. — С. 118—121.
4. *Потапов В.А.* Научные основы анализа и управления кинетикой сушки пищевого сырья : дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. — Харьков, 2007. — 348 с.

УДК 664.061.4:084

## FLOWS AT VIADROSTRAGUVANNI BASED ON COMBINED MODEL

T. Misyura, V. Zavialov, O. Lobok, N. Popova, Y. Zaporozhets  
*National University of Food Technologies*

---

### Key words:

*Mathematical model  
Flow structure  
Reverse flow  
Cell model  
Vibration extraction  
Distribution of matter*

### Article history:

Received 15.09.2017  
Received in revised form  
05.10.2017  
Accepted 25.10.2017

### Corresponding author:

T. Misyura  
E-mail:  
npnuht@ukr.net

---

### ABSTRACT

The paper presents analytical studies of the structure of hydrodynamic working flows in the conditions of solid phase continuous vibration extraction taking into account the density of external sources of accumulation of the target component on the basis of a cell model with reverse flows. A virtual simulator was created to simplify the input of the initial parameters and to visualize the results of calculations. Analytical results can be used at the design stage, the design of vibroextraction equipment and in solving optimization problems. The corresponding calculation algorithm is implemented using the MatLAB package and allows determining the distribution of concentrations of the extractive substance in the flow and stagnation zones separately for each phase in time, as well as in each cell of the working zone of the continuous vibration excretory.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-13

---

## МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС СТРУКТУРИ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ПРИ ВІБРОЕКСТРАГУВАННІ НА ОСНОВІ КОМІРЧАСТОЇ МОДЕЛІ

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

*У статті представлено аналітичні дослідження структури гідродинамічних робочих потоків в умовах твердофазового безперервного віброекстрагування з урахуванням щільності зовнішніх джерел накопичення цільового компонента на основі комірчової моделі із зворотними потоками. Для спрощеного введення початкових параметрів та для наочного зображення результатів розрахунків було створено віртуальний тренажер. Аналітичні результати можуть бути використані на стадії проектування, конструювання віброекстракційної апаратури та при розв'язанні оптимізаційних задач. Створена за відповідним алгоритмом програма розрахунків реалізована за допомогою пакета MatLAB і дає змогу визначити розподіл концентрацій екстрактивної речовини за проточними і застійними зонами окремо по кожній фазі в часі, а також у кожній коміріці робочої зони віброекстрактора безперервної дії.*

**Ключові слова:** математична модель, структура потоків, зворотний потік, коміркова модель, віброекстрагування, розподілення речовини.

**Постановка проблеми.** Рух потоків у віброекстракторах безперервної дії ускладнюється нерівномірністю профілю швидкостей пульсуючих потоків [1], генерованих робочими елементами, що при певному конструктивному їх виконанні та нераціональних режимах роботи апарата призводить до байпасування його частини та каналоутворення і, як результат, зниження середньої рушійної сили масообміну між фазами. Отже, недостатня інформація про механізм гідродинаміки в апаратах такого типу унеможливає повне використання їх властивостей на стадії проектування й експлуатації, оскільки при наявності аномальних зон (застійних, із зниженою інтенсивністю, циркуляційних) порушується технологічний режим вилучення цільових компонентів із твердої фази [2]. Тому знання структури потоків — одна з основоположних умов створення інтенсифікованого екстракційного обладнання, в тому числі й віброекстракційного.

Для встановлення обґрунтованого в заданих технологічних межах зв'язку між конструктивними й технологічними параметрами процесу застосовувалась аналітична теорія структури потоку [3].

При цьому загальні уявлення побудови математичних моделей передбачають дві принципові групи моделей: ідеалізовані (перемішування та витіснення) та реальні (дифузійна, коміркова та комбіновані). В реальних умовах названі типи моделей не забезпечують належну точність опису гідродинамічної структури потоків через наявність у робочому об'ємі апарата вищезгаданих додаткових гідродинамічних ефектів.

З метою розроблення алгоритму вибору типу моделі гідродинамічної структури потоків у колонних віброекстракторах безперервної дії та через відсутність такої інформації в літературі нами виконано аналіз усіх можливих відповідних структур за типовими ознаками та зосереджено увагу на математичному описі моделі структури потоків на основі коміркової моделі із зворотними потоками.

**Метою статті** є розроблення математичного опису гідродинамічної структури потоку в віброекстракторі безперервної дії на основі комірчастої моделі із зворотними потоками.

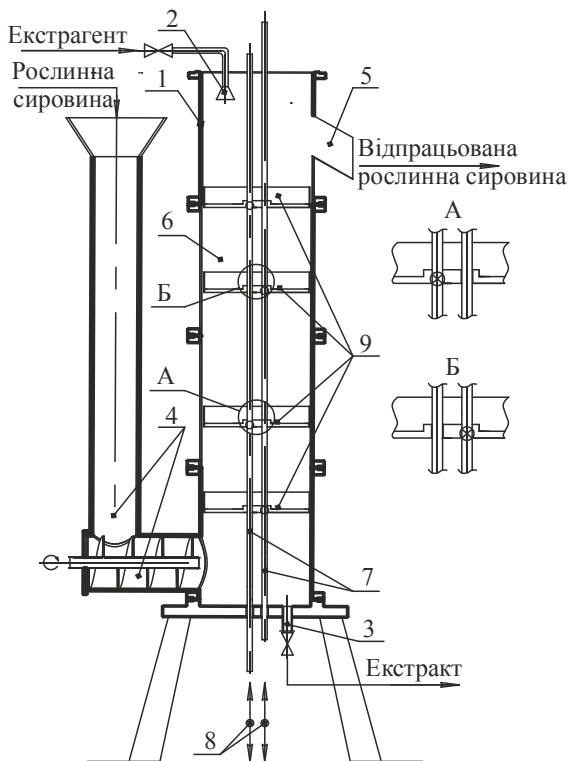
**Викладення основних результатів дослідження.** Гідродинамічні дослідження (візуалізація потоків) виконувалась на моделі вібраційного екстрактора з корпусом із органічного скла [1] діаметром 0,3 м, висотою 1,5 м на системі капронова дрібка–вода. Досліджувались різні типи вібротранспортувальних пристроїв [2]. Амплітуда коливань змінювалась у межах  $(5 \dots 15) \cdot 10^{-3}$  м, частота —  $(1 \dots 10)$  Гц.

Аналітичний опис структури потоків розглядався для конструкції пілотного віброекстрактора безперервної дії, показаного на рис. 1 [4].

Апарат має вертикальний корпус 1 із пристроями введення 2 та виведення 3 рідкої фази та із пристроями введення 4 та виведення 5 твердої фази, та із встановленими у його робочому об'ємі 6 двома вертикальними штоками 7, які забезпечені від приводу 8 вертикального взаємовідносного протиспрямованого коливального руху із регульованими амплітудами та частотами, та



такі, що несуть на собі по черзі закріплені на них сепарувально-транспортвальні тарілки 9 в необхідній певній кількості.



**Рис. 1. Загальний вид вібраційного екстрактора:** 1 — корпус; 2, 3 — пристрій введення та виведення рідкої фази; 4, 5 — пристрій введення та виведення твердої фази; 6 — робочий об'єм апарата; 7 — шток; 8 — привід; 9 — сепарувально-транспортвальна тарілка

виду рослинної сировини. Так, як приклад, на рис. 2. представлено транспортувально-сепарувальну тарілку [4].

Транспортувально-сепарувальна функція тарілки забезпечується різноспрямованими та різними за питомими об'ємами твердої і рідкої фаз (при коливному русі тарілки) відповідними елементами, а саме: транспортувальними отворами-соплами із направляючими циліндричними патрубками та сепарувальними отворами-соплами із фільтрувальними конічними патрубками. Саме оптимальне співвідношення гідродинамічних характеристик названих двох типів елементів тарілки забезпечує поступове гідравлічне переміщення твердої фази «знизу–вверх», інтенсивне перемішування, оновлення поверхні контакту двох фаз та їх розділення — сепарування.

Віброекстрактори безперервної дії працюють у режимі зустрічного руху взаємодіючих фаз, використовуючи новий принцип розділення за допомогою спеціальних вібротранспортувальних пристроїв, які не викликають пресуван-

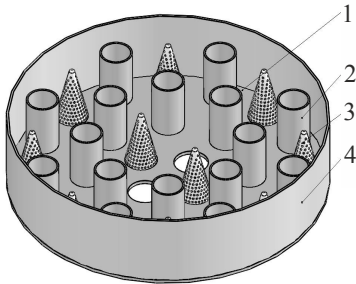
Екстрагент вводиться в робочий об'єм 6 апарата через пристрій 2, вільно переміщується зверху донизу робочого об'єму апарата і після контактування з твердою фазою, вже у вигляді екстракту, виводиться через пристрій 3. Тверда фаза вводиться в робочий об'єм апарата через пристрій 4, пенетрує в рідку фазу, змішується з нею. Це забезпечує утворення двофазної суміші, яка надалі піддається діянням гідромеханічних коливань з боку тарілок 9.

Протифазові із заданою амплітудою та частотою коливальні рухи певної сумарної кількості «парних» (рис. 1: фр. А) та «непарних» (рис. 1: фр. Б) тарілок в усьому робочому об'ємі апарата забезпечують безперервне ступінчасте (послідовно-порційне) та протиспрямоване до напрямку руху рідкої фази транспортування твердої фази від її входу 4 до виходу 5 з апарата.

Типи тарілок, які можуть бути використаними в такому типі екстрактора залежать від на рис. 2. представлено транспортувально-сепарувальну тарілку [4].

ня шару сировини та забезпечують його поруватість, незалежно від розміру частинок. При цьому тривалість перебування всіх частинок у робочому об'ємі апарата майже однакова і, як наслідок, найбільш повно використовується рушійна сила процесу [5].

Разом з тим протитечійний рух фаз у реальних умовах не завжди може бути рівноцінним ідеальній схемі потоку внаслідок створення віброперемішувальними пристроями нерівномірного профілю швидкостей окремих потоків у поперечному перерізі апарата — поздовжнім перемішуванням. Як правило, поздовжнє перемішування значно зростає при переході від лабораторних, пілотних апаратів до промислових зразків. Тому такі ефекти повинні знаходитись в зоні постійної уваги в процесі масштабування апаратів.



**Рис. 2. Загальний вид тарілки з жорсткими транспортувальними та фільтрувальними елементами:**  
1 — дно тарілки; 2 — транспортувальний елемент; 3 — фільтрувальний елемент; 4 — борт

Для кількісного оцінювання аномальних гідродинамічних зон в апаратах колонного типу існує ряд моделей структури потоків, раціональний вибір якої надає можливість передбачити оптимальні режимні та конструктивні параметри апарата та забезпечити надійне масштабування процесу на мікро- і макрорівні. Аналітичний опис структури потоків розглядався для конструкції пілотного віброекстрактора безперервної дії [6; 7].

Враховуючи реалії гідродинамічної обстановки в апараті, створеної пульсуючими струменями, що генеруються транспортувальними елементами віброуючих насадок, у робочому об'ємі апарата нами виконано відповідне моделювання на основі коміркової моделі із зворотними потоками. Для цього нами проаналізована й узагальнена комірчаста модель із зворотними потоками для випадків різних розмірів комірок віброекстрактора та різних величин зворотних потоків.

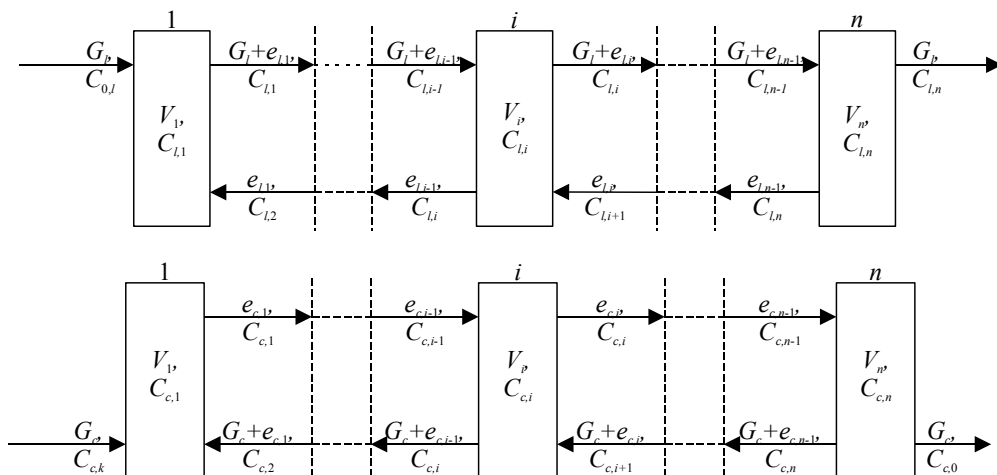
З метою оцінки розмірів зворотних потоків між комірками та інших параметрів, пов'язаних з ними, нами проаналізована коміркова модель із зворотними потоками, параметрична форма якої для рідкої й твердої фаз зображена на рис. 3.

У загальному випадку основні рівняння коміркової моделі із застійними зонами за рідкою фазою (рис. 3а) мають вигляд:

У загальному випадку основні рівняння коміркової моделі із застійними зонами за рідкою фазою (рис. 3а) мають вигляд:

$$\begin{cases} V_1 \cdot \frac{dC_{l,1}}{d\tau} = Q_l \cdot C_{l,0} + e_{l,1} \cdot C_{l,2} - (Q_l + e_{l,1}) \cdot C_{l,1} \\ V_i \cdot \frac{dC_{l,i}}{d\tau} = (Q_l + e_{l,i-1}) \cdot C_{l,i-1} + e_{l,i} \cdot C_{l,i+1} - (Q_l + e_{l,i} + e_{l,i-1}) \cdot C_{l,i} \\ V_n \cdot \frac{dC_{l,n}}{d\tau} = (Q_l + e_{l,n-1}) \cdot C_{l,n-1} - (Q_l + e_{l,n-1}) \cdot C_{l,n} \end{cases} \quad (1)$$

де  $0 \leq \tau \leq T$  — поточний час перебування індикатора рідкої фази в комірці, с;  $V_i$ , — об'єм  $i$ -тої комірки, м<sup>3</sup>;  $C_{l,i}$ , — концентрація індикатора в рідкій фазі в  $i$ -тій комірці, кг/м<sup>3</sup>;  $e_{l,i}$  — об'ємна швидкість потоку зворотного потоку із  $(i+1)$  комірки в  $i$ -ту, м<sup>3</sup>/с.



**Рис. 3.** Параметрична схема комірчастої моделі із зворотними потоками:  $0 \leq \tau \leq T$  — поточний час перебування індикатора рідкої фази в комірці, с;  $V_i$  — об'єм  $i$ -ої комірки, м<sup>3</sup>;  $C_{l,i}$ ,  $C_{c,i}$  — концентрація індикатора в рідкій і твердій фазі, кг/м<sup>3</sup>;  $e_{l,i}$ ,  $e_{c,i}$  — об'ємна швидкість зворотного потоку із  $(i+1)$  комірки в  $i$ -у та із  $i$ -ої в  $(i+1)$ -у комірки, м<sup>3</sup>/с

$$e_{l,i} = f_{l,i} \cdot Q_i; \tag{2}$$

де  $0 \leq f_{l,i} \leq 1$  — частка об'ємних витрат основного потоку, яка повертається з  $(j+1)$  в  $j$ -у комірку.

Об'єм апарата та час перебування частинок в апараті:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i, \quad T = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{Q_l} = \frac{V}{Q_l}, \quad 0 \leq \tau \leq T, \quad 0 \leq \frac{\tau}{\theta} \leq 1; \quad \frac{\tau}{T} = \theta; \quad 0 \leq \theta \leq 1, \tag{3}$$

де  $\tau$  — розмірна величина часу, с;  $\theta$  — безрозмірна величина часу.

Покладемо такі початкові умови:

$$C_{l,1}(0) = \frac{V_{\text{інд.}}}{V_1}, \quad C_{l,0} = \frac{\bar{V}_{\text{інд.}}}{V_1}, \quad C_{l,i}(0) = 0, \quad i = 2, \dots, n, \\ e_{l,n} = 0, \quad f_n = 0, \quad e_{l,0} = 0, \quad f_0 = 0 \tag{4}$$

де  $V_{\text{інд.}}$  — кількість імпульсно введеного індикатора, кг;  $\bar{V}_{\text{інд.}}$  — кількість ступінчасто введеного індикатора, кг.

Для обезрозмірювання системи (1) домножимо його на  $\frac{T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}}$ :

$$\begin{aligned} \frac{V_i \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot \frac{dC_{l,i}}{d\tau} = \frac{T \cdot (1 + f_{l,i-1}) \cdot Q_l \cdot V_{i-1}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{i-1}} \cdot C_{l,i-1} + \\ + \frac{T \cdot f_{l,i} \cdot Q_l \cdot V_{i+1}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{i+1}} \cdot C_{l,i+1} - \frac{T \cdot (1 + f_{l,i} + f_{l,i-1}) \cdot Q_l \cdot V_i}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_i} \cdot C_{l,i}. \end{aligned} \quad (5)$$

Зробимо заміну:

$$z_i = \frac{V_i \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,i}. \quad (6)$$

Після підстановки (6) в (5), отримуємо:

$$\frac{dz_i}{d\theta} = \frac{(1 + f_{l,i-1}) \cdot V}{V_{i-1}} \cdot z_{i-1} + \frac{f_{l,i} \cdot V}{V_{i+1}} \cdot z_{i+1} - \frac{(1 + f_{l,i} + f_{l,i-1})}{V_i} \cdot z_i. \quad (7)$$

Зробивши заміну

$$\mu_i = \frac{V_i}{V}, \quad (8)$$

отримуємо:

$$\frac{dz_i}{d\theta} = \frac{1 + f_{l,i-1}}{\mu_{i-1}} \cdot z_{i-1} + \frac{f_{l,i}}{\mu_{i+1}} \cdot z_{i+1} - \frac{(1 + f_{l,i-1} + f_{l,i})}{\mu_i} \cdot z_i. \quad (9)$$

Обезрозмірюємо початкові умови:

$$z_1(0) = \frac{V_1}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{l,1}(0) = \frac{V_1}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot \frac{V_{\text{інд.}}}{V_1} = \frac{V_{\text{інд.}}}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}}, \quad (10)$$

$$z_i(0) = 0, \quad i = 2, \dots, n, \quad \frac{1 + f_0}{\mu_0} \cdot z_0 = \frac{\bar{V}_{\text{інд.}}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot \mu_1}. \quad (11)$$

Зробивши заміну

$$\frac{1 + f_{l,i-1}}{\mu_{i-1}} = a_i, \quad \frac{f_{l,i}}{\mu_{i+1}} = c_i, \quad -\frac{(1 + f_{l,i-1} + f_{l,i})}{\mu_i} = b_i, \quad (12)$$

отримуємо:

$$\frac{dz_i}{d\theta} = a_i \cdot z_{i-1} + b_i \cdot z_i + c_i \cdot z_{i+1}. \quad (13)$$

Представивши рівняння (13) у векторній формі, отримуємо:

$$A = \begin{bmatrix} b_1 & c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & b_3 & c_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_4 & b_4 & c_4 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & b_{n-1} & c_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n & b_n \end{bmatrix}, \quad z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Таким чином, маємо остаточно систему та вектор невідомих:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dz}{d\theta} = A \cdot z + f \\ z(0) = z^0 \end{array} \right., \quad z^0 = \begin{bmatrix} \frac{V_{\text{інд.}}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}})} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} \frac{\bar{V}_{\text{інд.}}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}})} \cdot \mu_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \alpha = \begin{bmatrix} f_{l,1} \\ f_{l,2} \\ f_{l,3} \\ f_{l,4} \\ \dots \\ f_{l,n} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

У загальному випадку основні рівняння коміркової моделі із застійними зонами за твердою фазою (рис. 3б) мають вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 \cdot \frac{dC_{c,1}}{d\tau} = (Q_c + e_{c,1}) \cdot C_{c,2} - (Q_c + e_{c,1}) \cdot C_{c,1} \\ V_i \cdot \frac{dC_{c,i}}{d\tau} = (Q_c + e_{c,i}) \cdot C_{c,i+1} + e_{c,i-1} \cdot C_{c,i-1} - (Q_c + e_{c,i-1} + e_{c,i}) \cdot C_{c,i} \\ V_n \cdot \frac{dC_{c,n}}{d\tau} = Q_c \cdot C_{c,n+1} + e_{c,n-1} \cdot C_{c,n-1} - (Q_c + e_{c,n-1}) \cdot C_{c,n} \end{array} \right., \quad (16)$$

де  $0 \leq \tau \leq T$  — поточний час перебування індикатора рідкої фази в комірці, с;  $V_i$  — об'єм  $i$ -ої комірки, м<sup>3</sup>;  $C_{c,i}$ , — концентрація індикатора в твердій фазі в  $i$ -ій комірці, кг/м<sup>3</sup>;  $e_{c,i}$  — об'ємна швидкість потоку зворотного потоку із  $i$ -ої комірки в  $(i + 1)$ -у, м<sup>3</sup>/с:

$$e_{c,i} = f_{c,i} \cdot Q_c, \quad (17)$$

де  $0 \leq f_{c,i} \leq 1$  — частка об'ємних витрат основного потоку, яка повертається з  $(j+1)$  в  $j$ -у комірку.

Об'єм апарата та час перебування частинок в апараті:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i, \quad T = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{Q_c} = \frac{V}{Q_c}, \quad 0 \leq \tau \leq T, \quad 0 \leq \frac{\tau}{\theta} \leq 1; \quad \frac{\tau}{T} = \theta; \quad 0 \leq \theta \leq 1, \quad (18)$$

де  $\tau$  — розмірна величина часу, с;  $\theta$  — безрозмірна величина часу.

$$\begin{aligned} \frac{V_{k,i} \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot \frac{dy_i}{d\tau} &= \frac{T \cdot (1 + f_i) \cdot Q_c \cdot V_{k,i+1}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{k,i+1}} \cdot y_{i+1} + \\ &+ \frac{T \cdot f_{i-1} \cdot Q_c \cdot V_{k,i-1}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{k,i-1}} \cdot y_{i-1} - \frac{T \cdot (1 + f_{i-1} + f_i) \cdot Q_c \cdot V_{k,i}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{k,i}} \cdot y_i \end{aligned} \quad (19)$$

Покладемо такі початкові умови:

$$C_{c,i}(0) = \frac{V_{\text{інд.}}}{V_1}, C_{c,0} = \frac{\bar{V}_{\text{інд.}}}{V_1}, C_{c,i}(0) = 0, i = 2, \dots, n,$$

$$e_{c,n} = 0, f_n = 0, e_{c,0} = 0, f_0 = 0, \quad (20)$$

де  $V_{\text{інд.}}$  — кількість імпульсно введеного індикатора, кг;  $\bar{V}_{\text{інд.}}$  — кількість ступінчасто введеного індикатора, кг.

Для обезрозмірювання системи (16) домножимо його на  $\frac{T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}}$ :

$$\frac{V_i \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot \frac{dC_{c,i}}{d\tau} = \frac{T \cdot (1 + f_{c,i-1}) \cdot Q_c \cdot V_{i-1}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{i-1}} \cdot C_{c,i-1} +$$

$$+ \frac{T \cdot f_{c,i} \cdot Q_c \cdot V_{i+1}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_{i+1}} \cdot C_{c,i+1} - \frac{T \cdot (1 + f_{c,i} + f_{c,i-1}) \cdot Q_c \cdot V_i}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot V_i} \cdot C_{c,i} \quad (21)$$

Зробимо заміну:

$$z_i = \frac{V_i \cdot T}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{c,i} \quad (22)$$

Після підстановки (22) в (21), отримуємо:

$$\frac{dz_i}{d\theta} = \frac{(1 + f_{c,i-1}) \cdot V}{V_{i-1}} \cdot z_{i-1} + \frac{f_{c,i} \cdot V}{V_{i+1}} \cdot z_{i+1} - \frac{(1 + f_{c,i} + f_{c,i-1})}{V_i} \cdot z_i \quad (23)$$

Зробивши заміну

$$\mu_i = \frac{V_i}{V}, \quad (24)$$

отримуємо:

$$\frac{dz_i}{d\theta} = \frac{1 + f_{c,i-1}}{\mu_{i-1}} \cdot z_{i-1} + \frac{f_{c,i}}{\mu_{i+1}} \cdot z_{i+1} - \frac{(1 + f_{c,i-1} + f_{c,i})}{\mu_i} \cdot z_i \quad (25)$$

Обезрозмірюємо початкові умови:

$$z_1(0) = \frac{V_i}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot C_{c,i}(0) = \frac{V_i}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}} \cdot \frac{V_{\text{інд.}}}{V_1} = \frac{V_{\text{інд.}}}{V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}}, \quad (26)$$

$$z_i(0) = 0, \quad i = 2, \dots, n, \quad \frac{1 + f_0}{\mu_0} \cdot z_0 = \frac{\bar{V}_{\text{інд.}}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}}) \cdot \mu_1} \quad (27)$$

Зробивши заміну

$$\frac{1 + f_{l,i-1}}{\mu_{i-1}} = a_i, \quad \frac{f_{l,i}}{\mu_{i+1}} = c_i, \quad -\frac{(1 + f_{l,i-1} + f_{l,i})}{\mu_i} = b_i, \quad (28)$$

отримуємо:

$$\frac{dz_i}{d\theta} = a_i \cdot z_{i-1} + b_i \cdot z_i + c_i \cdot z_{i+1}. \quad (29)$$

Представивши рівняння (13) у векторній формі, отримуємо:

$$A = \begin{bmatrix} b_1 & c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & b_3 & c_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_4 & b_4 & c_4 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & b_{n-1} & c_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n & b_n \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Таким чином, маємо остаточну систему та вектор невідомих:

$$\begin{cases} \frac{dz}{d\theta} = A \cdot z + f \\ z(0) = z^0 \end{cases}, z^0 = \begin{bmatrix} \frac{V_{\text{інд.}}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}})} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} \frac{\bar{V}_{\text{інд.}}}{(V_{\text{інд.}} + \bar{V}_{\text{інд.}})} \cdot \mu_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \alpha = \begin{bmatrix} f_{c,1} \\ f_{c,2} \\ f_{c,3} \\ f_{c,4} \\ \dots \\ f_{c,n} \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Для ідентифікації та оптимізації отриманих значень параметрів математичних моделей (15) та (31) була розроблена програма розрахунку в пакеті MATLAB. Також для спрощеного введення початкових параметрів і для наочного зображення результатів розрахунків було створено віртуальний тренажер, головне вікно якого зображене на рис. 4, а вікно налаштувань — на рис. 5.

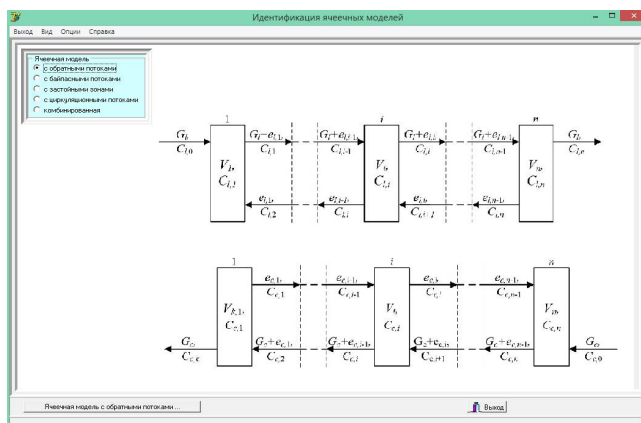


Рис. 4. Загальний вигляд головного вікна віртуального тренажера

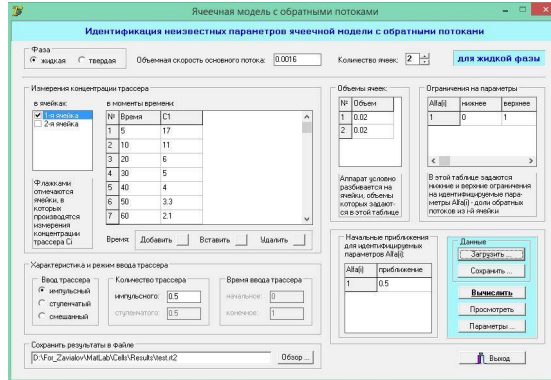


Рис. 5. Вікно налаштувань і введення вхідних даних віртуального тренажера

Створена за відповідним алгоритмом програма розрахунків реалізована за допомогою пакета MatLAB і дає змогу визначити розподіл концентрацій екстрактивної речовини за проточними і застійними зонами окремо по кожній фазі в часі, а також у кожній комірці. На рис. 6—8, як приклад, зображено результати даної програми.

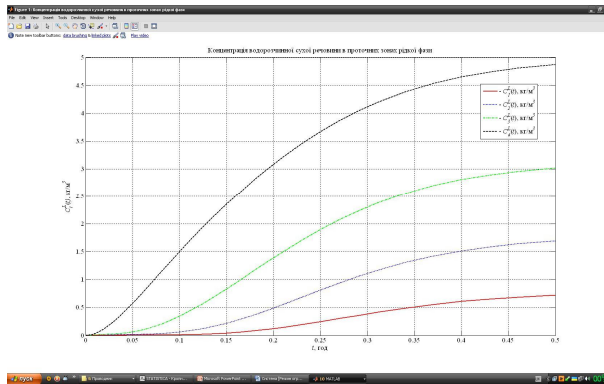


Рис. 6. Вміст екстрактивних речовин у проточних зонах рідкої фази

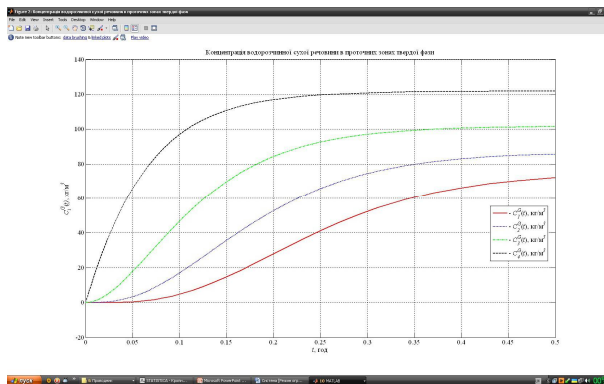


Рис. 7. Вміст екстрактивних речовин у проточних зонах твердої фази



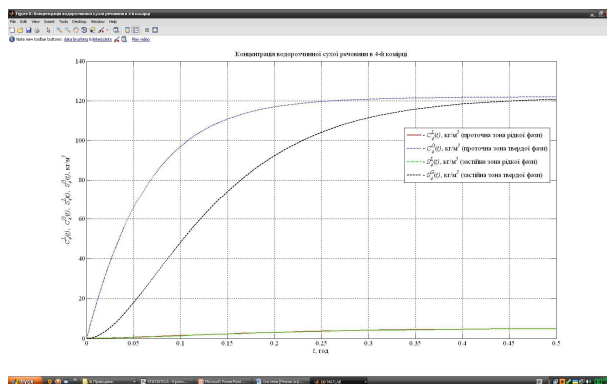


Рис. 8. Вміст екстрактивних речовин в  $n$ -ій комірці

## Висновки

У результаті аналітичних досліджень структури гідродинамічних робочих потоків в умовах твердофазового неперервного віброекстрагування з урахуванням щільності зовнішніх джерел накопичення цільового компонента на основі коміркової моделі із зворотними потоками отримано відповідні математичні моделі, які можуть бути використані на стадії проектування, конструювання віброекстракційної апаратури колонного типу та при розв'язанні оптимізаційних задач.

## Література

1. Зав'ялов В.Л. Особливості приводних систем екстракційного обладнання з коливальним ефектом робочого середовища / В.Л. Зав'ялов, В.С. Костюк, Т.Г. Мисюра, В.С. Бодров, Є.В. Костюк, Ю.В. Запорожець, Н.В. Попова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. — Харків : НТУ «ХПІ». — 2016. — № 18(1190). — С. 30—39. — doi:10.20998/2413-4295.2016.12.01.
2. Зав'ялов В.Л. Математичний опис гідродинамічної структури потоків при безперервному віброекстрагуванні на основі коміркової моделі із застійними зонами / В.Л. Зав'ялов, О.П. Лобок, Т.Г. Мисюра, Ю.В. Запорожець, Н.В. Попова, В.С. Бодров. — Одеса : Наукові праці ОНАХТ. — 2016. — Том 2, № 48. — С. 75—78.
3. Городецкий И.Я. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий, А.А. Васин, В.М. Олевский, П.А. Лупанов / под ред. В.М. Олевского. — Москва : Химия, 1980. — 192 с.
4. Vladimir Zavialov Development of mathematical models of external mass exchange under conditions of vibroextraction from vegetable raw materials. / Vladimir Zavialov, Viktor Bodrov, Taras Misyura, Nataliya Popova, Yuliya Zaporozhets Vadim Dekanskiy. — Chemistry & Chemical Technology, 2015, 9(3), 367—374.
5. Пат. винах. 86485 Україна, МІЖ<sup>6</sup> В 01 D 11/02. Вібраційний екстрактор / Зав'ялов В.Л., Запорожець Ю.В., Бодров В.С.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. — № a200707563; заявл. 05.07.07; опубл. 27.04.09, Бюл. № 8.
6. Зав'ялов В.Л. Математичне моделювання структури потоків в віброекстракторах безперервної дії колонного типу з віброуючою системою розділення фаз / В.Л. Зав'ялов, О.П. Лобок, Т.Г. Мисюра, Ю.В. Запорожець, Н.В. Попова, В.С. Бодров. — Одеса : Наукові праці ОНАХТ. — 2013. — Том 2, № 43. — С. 26—29.
7. Зав'ялов В.Л. Закономірності дії пульсууючих потоків в умовах протічечіного розділення фаз при віброекстрагуванні із рослинної сировини. / В.Л. Зав'ялов, Т.Г. Мисюра, В.С. Бодров, Ю.В. Запорожець, Н.В. Попова, В.С. Деканський. — Будапешт : Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. — 2015. — III (5), Issue:41. — С. 95—99.

## MULTICRITERIAL STRUCTURAL AND PARAMETRIC SYNTHESIS OF OF FLOW PACKING SYSTEMS' FUNCTIONAL MODULES

O. Gavva, L. Kryvoplyas-Volodina, A. Derenivska  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Analysis*  
*Synthesis*  
*Levels*  
*Functional module*  
*Interconnected*  
*Streaming and*  
*Technological systems*  
*Criteria*

---

**ABSTRACT**

On the basis of the analysis of successive stages of the technological process, such basic levels of functional modules (FM) are considered: the module as a exploitational object; module as an object of manufacture; module as an object for improvement. At the same time, the level of exploitation of the product is primary, the level of manufacturing is secondary, and the level of improvement is tertiary. Levels are interconnected by direct and feedback links that provide continuous streaming of information about the operating exploitation of the technological system, as well as providing product properties at levels of improvement and manufacturing. The need for a multicriteria approach to its design was substantiated in the article on the example of FM for flow packing systems (FPS) of packaging lines of varying complexity. The tasks of the FM formation were solved by combining structural and parametric synthesis and the conditions of choice. The concept was proposed, mathematical models and algorithms of multicriteria structural-parametric synthesis of the modular control unit according to the given characteristics were developed. An approach to take into account all functional features of the operation of FM in the process of its manufacture and improvement was developed.

---

**Article history:**

Received 10.90.2017  
Received in revised form  
28.90.2017  
Accepted 18.10.2017

---

**Corresponding author:**

O. Gavva  
**E-mail:**  
gavvaoleksandr@gmail.com

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-14

---

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ПОТОКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАКУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, А.В. Деренівська  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті на підставі аналізу послідовних етапів технологічного процесу розглянуто композицію таких основних рівнів функціональних модулів: модуль як об'єкт експлуатації; модуль як об'єкт виготовлення; модуль як об'єкт удосконалення. При цьому рівень експлуатації виробу є первинним,*

рівень виготовлення — вторинним, а рівень удосконалення — третинним. Рівні взаємозв'язані між собою за допомогою прямих і зворотних зв'язків, які забезпечують безперервні потоки інформації про умови експлуатації технологічної системи, а також про забезпечення властивостей виробу на рівні вдосконалення і виготовлення. На прикладі ФМ для потоково-технологічних систем пакувальних ліній різної складності обґрунтовано потребу в багатокритеріальному підході до їх проектування. Розв'язані задачі формування ФМ з об'єднанням структурного й параметричного синтезів та умов вибору. Запропоновано концепцію, розроблено математичні моделі й алгоритми багатокритеріального структурно-параметричного синтезу модульного блоку керування за заданими характеристиками, а також підхід для врахування всіх функціональних особливостей експлуатації ФМ в процесі його виготовлення і вдосконалення.

**Ключові слова:** аналіз, синтез, рівні, функціональний модуль, зв'язки, потоково-технологічні системи, критерії.

**Постановка проблеми.** Враховуючи сучасні завдання конструювання, компоновки і вибору пакувального обладнання в харчовій галузі, яка розвивається в умовах жорсткої конкуренції та швидкого оновлення продукції, актуальним питанням є забезпечення обґрунтованого вибору оптимальних структури й параметрів потоково-технологічних систем пакувальних ліній харчових виробництв. Скорочення термінів розроблення та виготовлення, раціонального зниження вартості, підвищення якості та конкурентоспроможності — це актуальні завдання для виробників пакувального обладнання. Найважливішими і особливо відповідальними стадіями життєвого циклу потоково-технологічних систем (ПТС) пакувальних ліній харчових виробництв є початкові стадії проектування.

Сучасні засоби обчислювальної техніки і прикладне програмне забезпечення, зокрема такі пакети, як AnyLogic, ViSSIM, MatLab, MathCAD, FluidLAB, EPLANplatform, MechanicalDesktop 5, Mechanical, SolidWork, Pro/ENGINEER, COSMOS та інші, дають можливість швидко і якісно проаналізувати й спроектувати потоково-технологічні системи пакувальних ліній харчових виробництв практично будь-якої складності. Однак у згаданих програмних продуктах подані для користування лише типові математичні методи оптимізації, що істотно обмежує їхні можливості, залишаючи користувачеві складні проблеми оцінки отриманих результатів синтезу та вибору ефективних шляхів покращення структури і співвідношення конструктивних параметрів майбутньої ПТС.

Отже, удосконалення існуючих і розроблення нових методів багатокритеріального синтезу ПТС за заданими характеристиками на основі системного підходу до оцінки їхньої якості та конкурентоспроможності є актуальним і надзвичайно важливим завданням для вітчизняного машинобудування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сукупність процесів у машинах і функціональних модулях (ФМ) пакувальної технологічної лінії є, по суті, одним великим процесом (потокком). Незважаючи на різноманітність технологій машинно-апаратного оформлення, загальним для різних ліній є те, що в них організований і функціонує безперервний технологічний потік

перетворення вихідної сировини в пакований продукт. Такий потік проаналізовано на базі методу графозаміни технологічних вузлів в [1], де описано основні критерії, які необхідно знати для створення високоефективних технологічних пакувальних ліній. Відсутність конструкторських рішень в [1] для лінії в цілому не дає змоги узагальнити синтез ПТС пакувальної лінії. Будова і форма технологічної операції і технологічного потоку, тобто їх морфологія [2] — одне із нагальних питань в ПТС пакувального виробництва, але без підтвердження математичним моделюванням. Оцінка якості виробу, обладнання здійснюється з використанням відповідних показників [3; 4]: призначення надійності, технологічності, стандартизації та уніфікації не описані як сукупність основних характеристик окремого ФМ у складі ПТС. У [5] наведені можливі варіанти структурної динаміки складної структури потоково-технологічної технічної систем, не підкріплені програмно-математичним та інформаційним забезпеченням завдання організації структури ПТС.

**Метою дослідження** є розроблення й узагальнення теоретичних основ багатокритеріального структурно-параметричного синтезу ПТС пакувальних ліній харчових виробництв за заданими характеристиками, що ґрунтується на відборі на ранніх стадіях проектування раціональних параметрів ФМ для створення на їхній основі конкуренто спроможних зразків обладнання.

**Викладення основних результатів дослідження.** Розглянемо будову ПТС різної складності та вимоги до їхнього функціонування з метою встановлення критеріїв якості, функціональних, параметричних і критеріальних обмежень та обґрунтування методу багатокритеріального структурно-параметричного синтезу ФМ на підставі існуючих методів і методик [6—8].

Під час розроблення проекту ФМ у складі ПТС пакувальних ліній, його характеристики ідентифікують і документують у вигляді специфікацій, креслень, проектувальних розрахунків тощо. Визначають способи вимірювання і методи оцінки їх відповідності вимогам замовника та інших зацікавлених сторін. Значення цих характеристик використовують на наступному етапі — технологічній підготовці виробництва для визначення характеристик обладнання і послідовності технологічних дій під час виготовлення ФМ.

З математичної точки зору — це сукупність значень параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , які характеризують стан системи ФМ у певний момент часу  $t = t_0$ . Величини  $x_i$  можуть набувати довільних значень, причому двом різним наборам величин  $x_i$  і  $x_i'$  відповідають два різні стани. Позначимо ці параметри  $x_i, i = 1, \dots, n$ , причому кількість цих параметрів  $n$  може бути великою. Їх зручно об'єднати в один  $n$ -вимірний вектор або стовпець параметрів  $x_i$  (табл. 1).

*Таблиця 1. Дані, які характеризують стан системи ФМ у певний момент часу  $t = t_0$*

Вектор-стовпець даних		
про виріб	про процеси	про ресурси
$x_1 = \begin{vmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ \dots \\ x_{1n} \end{vmatrix}$	$x_2 = \begin{vmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ \dots \\ x_{2n} \end{vmatrix}$	$x_3 = \begin{vmatrix} x_{31} \\ x_{32} \\ \dots \\ x_{33} \end{vmatrix}$

При цьому характеристики продукції і процесів мають бути простежуваними стосовно документованих вимог замовника та інших зацікавлених сторін. Тому зв'язок між процесами проектування і технологічної підготовки виробництва є двостороннім, оскільки часто потрібно відкоригувати характеристики виробу відповідно до існуючого обладнання і навпаки. Виготовлений виріб надходить замовникові або споживачеві, який використовує його, виходячи зі своїх потреб відповідно до тієї документації, яка супроводжує продукцію. Відношення між станами входів і виходів (спосіб дії процесу  $\phi$ ) будемо розглядати як математичне перетворення вектора  $X$  у вектор  $Y$  у вигляді  $Y = F(X)$ :

$$\phi: X \xrightarrow{F} Y, \quad \Pi: Res \rightarrow Prod, \quad (1)$$

де  $X, Y$  — відповідно, множина затрачених ресурсів та обсяг випущеної продукції. У процесі експлуатації проводиться оцінка відповідності характеристик виробу вимогам замовника. Інформація про відмови та інші недоліки, зміну умов застосування передається на етап проектування і розроблення, побічно впливаючи на технологічну підготовку виробництва. Взаємозв'язок між процесами дає змогу проводити вимірювання та аналіз даних, застосовувати коригувальні й запобіжні дії та методи запобігання втратам, щоб сприяти постійному поліпшенню поточних і майбутніх проектів, підвищувати їх ефективність. Контроль процесів передбачає контроль взаємодій, що сприяє усуненню конфліктів або непорозумінь. Процедура прийняття рішення здійснюється з урахуванням таких факторів: множина цілей (мотивів)  $M$ ; множина ресурсів (можливостей)  $X$ ; множина можливих ситуацій (станів)  $H$ . Під ситуацією  $h$  розуміють множину  $h = \{s; s_c\}$ , де  $s \in S$  — множина станів об'єкта, що приймає рішення;  $s_c \in S_c$  — множина станів середовища та об'єкта управління. Функціональна модель процесу прийняття рішення задається відображенням

$$\phi: H \cdot X \cdot M \rightarrow D, \quad (2)$$

яке кожній множині  $(h, x, m)$ , де  $h \in H$ ,  $x \in X$  і  $m \in M$ , ставить у відповідність рішення  $d$ , що належить множині допустимих рішень  $D$ .

Завдання знаходження необхідних ресурсів зводиться до побудови відображення  $\phi$  певної множини  $D$  (рішень) у деяку множину  $X$  (ресурси) на основі спостережуваної відповідності між окремими значеннями рішень і множиною можливих ситуацій

$$\phi: D \cdot H \rightarrow X. \quad (3)$$

Правило визначення якості рішення, що формується, записується як

$$\phi: [M / I, k_\tau, \chi] \cdot Y \cdot H \rightarrow Q, \quad (4)$$

де  $I$  — інформація, що використовується для прийняття рішень;  $k_\tau$  — коефіцієнт запасу часу ( $k_\tau = (t_y - \tau_p) / t_y$ ), де  $\tau_p$  та  $t_y$  — відповідно, час, що витрачається на формування рішення і на виконання операції виконання рішення;

$\chi$  — значущість рішень, що приймаються;  $Q$  — якість, яка досягається у результаті вибору рішень із множини  $D$ .

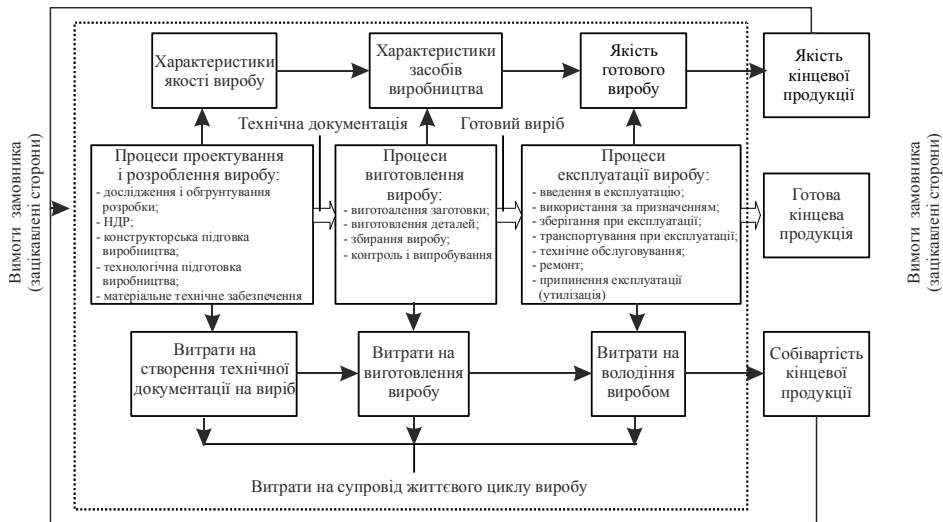
На підставі аналізу етапів проходження технологічних етапів розглянемо композицію таких рівнів (рис. 1):

- виріб як об'єкт експлуатації;
- виріб як об'єкт виготовлення;
- виріб як об'єкт удосконалення.

При цьому рівень експлуатації виробу є первинним, рівень виготовлення — вторинним, а рівень удосконалення — третинним. Рівні взаємозв'язані між собою за допомогою прямих і зворотних зв'язків, які забезпечують безперервні потоки інформації про умови експлуатації виробу (технологічної системи), а також про забезпечення властивостей виробу на рівні вдосконалення і виготовлення.

Такий підхід дає можливість урахувати всі функціональні особливості експлуатації виробу в процесі його виготовлення і вдосконалення.

Сучасні складні ФМ у складі ПТС пакувальних ліній можна розглядати як самостійно функціонуючі технічні системи. Сукупність характеристик виробу визначається типом, складом та якістю великої кількості елементів і підсистем, які взаємодіють між собою і об'єднані в систему для досягнення певної мети. Чим більша кількість елементів і підсистем, зв'язків між ними і станів, у яких вони можуть перебувати, тим більш складна технічна система.



**Рис. 1. Алгоритм формування ФМ в ПТС у складі пакувальної лінії**

У свою чергу, проектування і виготовлення ФМ обладнання також здійснюється багатофункціональними і багатоелементними системами.

У складі ПТС пакувальної лінії у загальному випадку можуть бути виділені три різні компоненти [9] — комплекс технічних засобів (КТЗ), програмне забезпечення (ПЗ) і оперативний персонал (ОП).

Під комплексом технічних засобів будемо розуміти сукупність технічних пристроїв, взаємозв'язаних між собою для виконання виробничих завдань.

КТЗ класифікуватимемо за сферою застосування: спеціалізований, багатофункціональний, універсальний.

Програмним забезпеченням системи є сукупність програм (програмних засобів), які використовуються у складі системи в процесі її функціонування. Всі елементи ПЗ (засоби, програми) розділяються на групи за ознакою їх участі у виконанні тієї або іншої функції, в реалізації якої бере участь ПЗ. У результаті утворюються функціональні підсистеми ПЗ (ФППЗ). Під функцією ПЗ розуміють управління конкретними технічними (обчислювальними) засобами системи. Функціональні підсистеми ФППЗ можуть мати різну значущість для функціонування системи в цілому і відповідно характеризуватися різним рівнем вимог. У багатофункціональній системі ПЗ може брати участь у реалізації декількох функцій. При цьому у виконанні якої-небудь однієї функції можуть брати участь не всі програми (програмні засоби), що входять до складу ПЗ. Під оперативним персоналом розуміють категорію працівників, які безпосередньо впливають на органи управління, мають право експлуатаційного обслуговування і виконання оперативних переключень на обладнанні.

Основним завданням ОП у процесі функціонування системи вважається виконання певної, заздалегідь заданої процедури (послідовності операцій) при виникненні певних умов (заданої ситуації). У виконанні процедури можуть брати участь один або декілька операторів. Якість виконання ОП заданої процедури визначається рядом вимог (вимоги точності, швидкості, послідовності виконання операції тощо). Найбільш частим видом порушення нормального функціонування ОП є помилка у виконанні заданої процедури, що виявляється в невиконанні однієї або декількох вимог до якості процесу і продукції.

Названі три компоненти впливають на ефективність результату системи не ізольовано, а в тісному взаємозв'язку один з одним, що виражається у можливостях одного коригувати ефективність реалізацій функцій двома іншими. Між компонентами діють просторово — часові відношення.

У зв'язку з тим, що системи є багатофункціональними і виконувани ними функції можуть істотно відрізнитися, при розгляді багатьох питань використовується функціональний підхід. При цьому для розгляду питань за певною ( $j$ -ю) функцією із складу всіх елементів виділяється група технічних, програмних і ергатичних (людина-оператор або група операторів, персонал) елементів, що беруть участь у виконанні даної функції (рис. 2).

Ця група елементів утворює  $j$ -ту функціональну підсистему ( $j$ -та ФПС або ФПС $_j$ ) даної системи. Саме ця ФПС $_j$  підлягає аналізу при розгляді характеристик системи відносно тієї, що реалізується нею  $j$ -ту функцію.

До складу ФПС $_j$  (як і до складу системи в цілому) в загальному випадку входять три компоненти:

- група технічних засобів, що беруть участь у реалізації  $j$ -ї функції ( $j$ -та функціональна підсистема КТЗ — ФПКТЗ $_j$ );
- група програмних засобів, які беруть участь у реалізації  $j$ -ї функції ( $j$ -та функціональна підсистема ПЗ — ФППЗ $_j$ );
- група ергатичних засобів, які беруть участь у реалізації  $j$ -ї функції ( $j$ -та функціональна підсистема ОП — ФПОП $_j$ ).

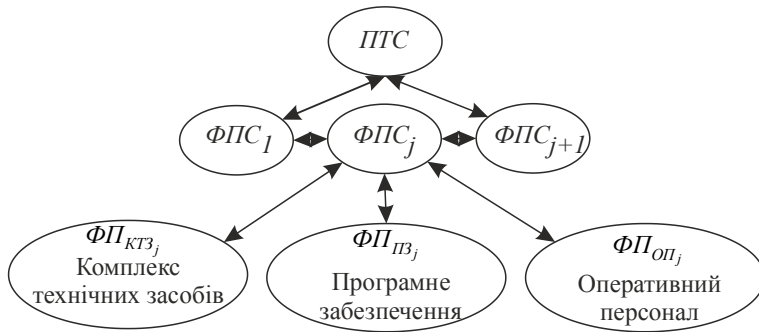


Рис. 2. Функціональні модульні підсистеми

Функціональні підсистеми виділяються за ознакою участі у виконанні деякої функції: за конструктивними ознаками можуть виділятися конструктивні підсистеми, за інформаційними ознаками — інформаційні підсистеми тощо. Аналіз функціонування системи істотно спрощується, якщо її структура побудована так, що підсистеми, які виділяються за функціональними і конструктивними ознаками, збігаються. За характером процесу виконання функції системи поділяються на безперервно виконувані (*H*-функції) та дискретно виконувані (*D*-функції). Однією з найважливіших складників якості сучасної системи, яка значною мірою визначає ефективність її функціонування у реальних умовах експлуатації, є надійність. Для переважної більшості розглядуваних систем основними складовими надійності є складові безвідмовності та ремонтпридатності.

Саме рівень безвідмовності та ремонтпридатності системи безпосередньо впливає на показники її продуктивності, економічності, ефективності й безпечності та значною мірою визначає низку найважливіших технічних і економічних чинників (таких, як необхідний обсяг запасних інструментів та приладів (*ЗИП*), кількість експлуатаційного та ремонтного персоналу).

Усі групи засобів можуть бути диференційовані на дві множини елементів функціональної підсистеми: готових на момент часу *t* до оперативного використання і неготових. На множині неготових до оперативного використання щодо системи, що задає функції виділяються засоби двох видів: стримувальні й критичні. У системі засобів можуть бути елементи, які, з одного боку, забезпечують заданий діапазон параметрів, що визначають ефективність виконання заданої функції, а з іншого — виходять за нормативний період часу її реалізації, тобто засіб, неготовий до оперативного використання. Якщо заданий діапазон параметрів забезпечується лише цим засобом, то він є стримувальним. У тому разі якщо відносно певної функції існує лише один тип засобів, здатних виконувати цю функцію, і вони належать до стримувальних, то він є критичним.

У результаті множина елементів системи засобів може бути подана як

$$\Phi\Pi = \Phi\Pi^{\Gamma} \cup \Phi\Pi^{\Gamma*} \cup \Phi\Pi^{\Gamma*,C}, \quad (5)$$

де  $\Phi\Pi^{\Gamma}$  — множина елементів, готових до оперативного використання на момент часу *t*;  $\Phi\Pi^{\Gamma*}$  — множина елементів, неготових до оперативного



використання (стримувальні елементи);  $\Phi\Pi\Pi^*$ ,  $C$  — множина критичних елементів системи засобів.

Комплексними показниками готовності  $\Phi\Pi\Pi$  є: коефіцієнт готовності ( $K_T$ ) і коефіцієнт оперативної готовності ( $K_{OT}$ ), які визначаються за формулами:

$$K_T(t) = \frac{T_0(t)}{[T_0(t) + T_B(t)]}; \quad (6)$$

$$K_{OT}(t) = K_T(t)e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

де  $T_0(t)$  — середнє напрацювання  $\Phi\Pi\Pi$  між відмовами на довільний момент  $t$  (сумарне напрацювання);  $T_B(t) = TB$  — середній час відновлення здатності системи до виконання функцій після відмови;  $\lambda$  — інтенсивність відмов.

Оцінка надійності функціонування персоналу містить імовірність безвідомовної роботи окремого виконавця з урахуванням надійності зв'язаних із ним технічних засобів та інформаційного забезпечення (програмних засобів):

$$P_{\Phi\Pi\Pi} = (P_0 P_1 [P_2(1 - P_0) + P_0] P_3(1 - P_4)) [1 - P_{\Phi\Pi\Pi KT3}(1 - P_0)]^2, \quad (8)$$

де  $P_i$  — імовірність;  $P_0$  — виконання персоналом необхідних дій;  $P_1$  — своєчасний прийом і обробка інформації програмним забезпеченням;  $P_2$  — правильне рішення, прийняте персоналом;  $P_3$  — правильна реалізація рішень;  $P_4$  — реалізація контролю, у тому числі самоконтролю;  $P_{\Phi\Pi\Pi KT3}$  — імовірність відмови технічних засобів.

Опис надійності багатофункціональної системи проводиться за кожною функцією (за кожною  $\Phi\Pi\Pi$ ) окремо. Розв'язання задачі проектної оцінки надійності системи, що має  $N$  функцій, зводиться до  $N$ -разового повторення розв'язання задачі для однієї  $\Phi\Pi\Pi$ . Наявність у  $\Phi\Pi\Pi$  трьох компонентів (приватних підсистем —  $\Phi\Pi\Pi KT3$ ,  $\Phi\Pi\Pi O$  і  $\Phi\Pi\Pi P$ ), відмови (помилки) кожного з яких можуть викликати відмову  $\Phi\Pi\Pi$  у цілому, зумовлює декілька видів відмов. Компоненти  $\Phi\Pi\Pi$  у цілому впливають на її результуючу надійність у тісному взаємозв'язку один із одним. Ця взаємодія обумовлюється взаємостійкістю (взаємною відмовостійкістю) компонентів. Принцип поетапної побудови оптимальної компоновки ПТС пакувальної лінії на основі окремих ФМ, базується на методиках і алгоритмі оптимального управління на основних стадіях синтезу ПТС. Алгоритм містить такі етапи:

1) записується функціональне рівняння для останнього етапу (рис.3) ( $l = k - 1$ ):

$$f_1(X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}}) = \max_{U_k} [E_k(X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}}, U_k) + f_0(X_{\Phi\Pi\Pi C_k})];$$

2) знаходиться  $E_k(X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}}; U_k)$  з дискретного набору його значень при деяких фіксованих  $X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}}$  і  $U_k$  з відомих допустимих областей, оскільки  $f_0(X_{\Phi\Pi\Pi C_k}) = 0$ , то  $f_1(X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}}) = \underset{U_k}{optimum} [E_k(X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}}, U_k)]$ . У результаті після першого кроку буде відоме рішення  $U_k$  і значення функції  $f_1(X_{\Phi\Pi\Pi C_{k-1}})$ ;

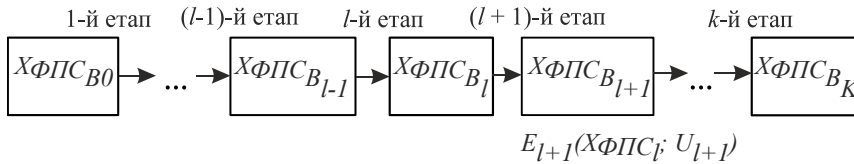
3) зменшуючи значення  $l$  на одиницю, записується відповідне функціональне рівняння. При  $l = k - n$  ( $n = \overline{2, k}$ ) воно має вигляд:

$$f_n(X_{\Phi PC_{k-n}}) = \max_{U_{k-n+1}} \left[ E_{k-n+1}(X_{\Phi PC_{k-n}}, U_{k-n+1}) + f_{k-1}(X_{\Phi PC_{k-n+1}}) \right]; \quad (8)$$

4) знаходиться умовно-оптимальне рішення;

5) перевіряється значення  $l$ . Якщо  $l = 0$ , то підрахунок умовно-оптимального розв'язку завершено. При цьому знайдене оптимальне рішення для першого стану  $\Phi PC_B$ . Якщо  $l \neq 0$ , то необхідно перейти до виконання п. 3;

6) розраховується оптимальний розв'язок для кожного наступного кроку, рухаючись від кінця розрахунків до початку.



**Рис. 3. Принцип поетапної побудови оптимального управління**

Використання моделі вибору ефективних режимів реалізації сумісної взаємодії функціональних модульних підсистем дає змогу оцінити кожен варіант конструкції машинобудівного виробу з точки зору витрат на його проектування, виготовлення і експлуатацію. Аналізуючи переваги і недоліки цих варіантів, вибирають найбільш оптимальний з точки зору ринкової кон'юнктури. Стан виробу на етапах побудови ПТС можна подати у вигляді схеми, яка показана на рис. 4. Розглянемо описану методику на дослідженні структурно-параметричної моделі ФМ механізму амортизації плівки пакувальної машини. Згідно з підходом структурно-параметричного моделювання (СПМ) виробу склад елементів ФМ (рис. 4) може бути визначений множиною [10]:

$$\Phi M = \{ \Phi M_1, \Phi M_2, \dots, \Phi M_i \}, \quad (9)$$

де  $i$  — кількість елементів пакувальної машини.

У цьому випадку ( $N_2 = 5$ )

$$\Phi M_2 = \{ \Phi M_1, \Phi M_2, \Phi M_3, \Phi M_4, \Phi M_5 \} = \{ P, PMK, ППР, П, РП \}. \quad (10)$$

У свою чергу, ці елементи діляться на частини:

$$C = \{ PK, PC \}, \quad PMK = \{ PRM, DM \}, \quad ППР = \{ MP, BP \}, \\ RP = \{ MPP, KMPP \}, \quad П = \{ PE, PP, K \}, \quad (11)$$

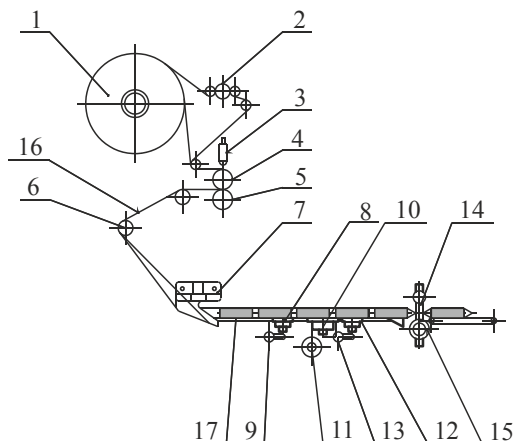
де  $PK, PC$  — відповідно конструкція і матеріал рулонотримача, конструкція станини рулонотримача;  $PRM, DM$  — вид привода ролика маркіратора, тип дешифратора мітки;  $MP, BP$  — механізм притискання, конструкція притискної балки;  $MPP, KMPP$  — механізм руху ролика, конструкція механізму руху

ролика; *ПЕ* — поліетиленовий пакувальний матеріал, *ПП* — поліпропіленовий пакувальний матеріал, *К* — композиційний пакувальний матеріал.

Склад об'єкта, що моделюється на рівні  $n=3$ , можна визначити множиною:

$$\Phi M_3 = \left\{ \{PK, PC\}, \{PRM, DM\}, \{MP, BP\}, \{MPP, KMPP\}, \{PE, PP, K\} \right\}, (12)$$

де  $N_3 = 11$  — кількість елементів  $\Phi M$  пакувальної машини на рівні  $n = 3$ .



**Рис. 4. Структурно-параметрична модель окремого функціонального модуля пакувальної машини ( $\Phi M$ ):** 1 — рулонотримач (*P*); 2 — ролик маркувальника кодів (*PMK*); 3 — фотодатчик; 4 — притискний приводний ролик (*ЛПР*); 5 — ролик прогумований (*РП*); 6 — ролик, який коливається (амортизуючий/акумуляуючий); 7 — формоутворювач рукава плівки; 8 — протягувальний ролик; 9 — ручка протягувального ролика; 10 — механізм захоплення; 11 — пристрій регулювання швидкості; 12 — запресовувальний ролик; 13 — ручка запресовувального ролика; 14 — верхній механізм для формування шва та розрізання; 15 — нижній механізм для формування шва та розрізання; 16 — пакувальна плівка (*П*); 17 — продукт

Для кожного елемента  $\Phi M$  пакувальної машини матимемо таку множину варіантів:

$$\begin{aligned} PK &= \{PK_i\}_1^{NPK}, PC = \{PC_i\}_1^{NPC}, \\ PRM &= \{PRM_i\}_1^{NPRM}, DM = \{DM_i\}_1^{NDM}, \\ MP &= \{MP_i\}_1^{NMP}, BP = \{BP_i\}_1^{NBP}, MPP = \{MPP_i\}_1^{NMPP}, \\ KMPP &= \{KMPP_i\}_1^{NKMPP}, PE = \{PE_i\}_1^{NPE}, PP = \{PP_i\}_1^{NPP}, K = \{K_i\}_1^{NK}, \end{aligned} (13)$$

де  $NPK = 2$ ;  $NPC = 3$ ;  $NPRM = 2$ ;  $NDM = 3$ ;  $NMP = 3$ ;  $NBP = 2$ ;  $NMPP = 3$ ;  $NKMPP = 2$ ;  $NPE = 1$ ;  $NPP = 1$ ;  $NK = 1$  відповідне число варіантів.

Тоді в даному випадку

$$\Phi M = \left\{ \Phi M_i \right\}_1^{N_4}, (14)$$

де  $N_4 = NPK + NPC + NPRM + NDM + NMP + NBP + NMPP + NKMPP + NPE + NPP + NK = 23$  — загальне число варіантів окремих елементів пакувального модуля машини.

## Висновок

Пакувальна машина як об'єкт моделювання може бути зображена у вигляді ієрархічної нерегулярної структури, яка є кінцевим неорієнтованим єднальним графом із вершиною входу ФМ (тобто деревом із окремими гілками рішень). На базі таких структурно-параметричних моделей можна не тільки відображати властивості та структуру складного технічного об'єкта, що проектується, яким є ФМ, але й ефективно проводити його аналіз, синтез і оптимізацію. Для оптимізаційних рішень доцільно застосовувати прикладні програмні продукти, наприклад AnyLogic. Такий підхід дає змогу не тільки дослідити можливі компоновочні рішення ФМ, а й опрацювати їх доцільність методами комп'ютерного моделювання технологічного процесу. У процесі проектування використовується системно-ієрархічний підхід, при якому ФМ розглядається як складна система зв'язаних і взаємодіючих між собою частин блоково-ієрархічної структури, що складається з різних рівнів. Аналіз взаємодії рівней в просторі ПП AnyLogic проведено на прикладі оптимізаційної моделі ФМ пакувальної машини. Результатом проведених досліджень є створення фізичної моделі з раціональними параметрами для технологічного процесу.

## Література

1. Дядюра К.А. Управление качеством механической обработки резанием на основе информации технической диагностики / К.А. Дядюра, В.В. Нагорный // Компрессорное и энергетическое машиностроение. — Сумы, 2011. — № 2(24)— С. 44—49.
2. Малкин А.Я. Реология. Концепции, методы, приложения / А.Я. Малкин, А.И. Исаев — Изд-во: Профессия, 2007. — 560 с.
3. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / А.С. Проников — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 560 с.
4. Залого В.А. Синергетическая картина непрерывного перехода между режимами реализации машиностроительного изделия / В.А. Залого, К.А. Дядюра, О.В. Ющенко и др. // SaTCIP — Journal of Research and Development in Mechanical Industry (JRaDMI), Vol. 1, # 1, pp. 77, 2009.
5. Jonsson M, Andersson C, & Stahl J. E. A general economic model for manufacturing cost simulation: proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, May (2008). Tokyo, 26—28.
6. Muthiah K.M.N, & Huang S.H. A review of literature on manufacturing systems productivity measurement and improvement. International Journal of Industrial Engineering (2006), 2006, 1—461.
7. Huang S.H, Dimukes J.P, Shi J, Su Q, Razzak M.A, & Robinson D.E. Manufacturing system modeling for productivity improvement. Journal of Manufacturing Systems (2002), 2002, 21—249.
8. Swic A., Gola A. (2010), Elements of design of production systems — methodology of machine tool selection in casing-class FMS. Management and Production Engineering Review, 1(2), pp. 78—80.
9. ДСТУ 3524-97 Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення.
10. Залого В.А. Функциональный подход к проектированию машиностроительного изделия / В.А. Залого, К.А. Дядюра // Збірник наукових праць НТУ «ХП» Високі технології в машинобудуванні. — Харків, 2010. — Вип. 2 (16). — С. 22—30.

## OBTAINING BIOACTIVE CASEIN PHOSPHOPEPTIDES USING DIFFERENT SOLVENTS

V. Yukalo, L. Storozh

*Teropil Ivan Puluj National Technical University*

---

**Key words:**

*Casein  
Proteolysis  
Phosphopeptides  
Alcohols  
Sedimentation*

**Article history:**

Received 06.09.2017  
Received in revised form  
18.09.2017  
Accepted 21.10.2017

**Corresponding author:**

V. Yukalo  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article deals with the determination of effect of type of solvent on absoluteness of phosphopeptides sedimentation from enzymic hydrolyzate of proteins of casein complex of cow's milk. Total casein that was extracted from fresh skim milk by double resedimentation at an isoelectric point was used as a substrate for the phosphopeptides obtaining. Phosphopeptides from the hydrolyzate were extracted by selective sedimentation using calcium salts with presence of various solvents. The yield of bioactive phosphopeptides was investigated using ethanol, propanol, isopropanol, butanol. The features of molecular and weight divisions, precipitated using different alcohols of casein phosphopeptides, were discovered using gel-filtration on Sephadex G-25. It is discovered that the highest yield (11.78%) of phosphopeptides, which molecular weights are similar to natural bioactive phosphopeptides, is reached by using ethanol for sedimentation. Using propanol and isopropanol leads to loss of certain part of large and medium-sized phosphopeptides.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-15

---

## ОТРИМАННЯ БІОАКТИВНИХ КАЗЕЇНОВИХ ФОСФОПЕПТИДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ РОЗЧИННИКІВ

В.Г. Юкало, Л.А. Сторож

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Стаття присвячена визначенню впливу виду розчинника на повноту осадження фосфопептидів із ферментативних гідролізатів протеїнів казеїнового комплексу молока корів. Як субстрат для отримання фосфопептидів використовували загальний казеїн, виділений із свіжого знежиреного молока подвійним переосадженням в ізоелектричній точці. Фосфопептиди з гідролізату виділяли селективним осадженням солями кальцію за наявності різних розчинників. Вихід біоактивних фосфопептидів досліджено при використанні етанолу, пропанолу, ізопропанолу, бутанолу. Гель-фільтрацією на сефадексі G-25 встановлено особливості молекулярно-масового розподілу осаджених різними спиртами казофосфопептидів. Виявлено, що при осадженні етанолом досягається найвищий вихід фосфопептидів (11,78%), які за молекулярною*

масою подібні до відомих природних біоактивних фосфопептидів. Використання пропанолу та ізопропанолу призводить до втрати частини фосфопептидів великого і середнього розмірів.

**Ключові слова:** казеїн, протеоліз, фосфопептиди, спирти, осадження.

**Постановка проблеми.** Вперше біологічно активні пептиди з казеїнів молока було виділено в 1979 р. у Мюнхені групою Віктора Брантла. Шляхом екстрагування в суміші хлороформ-метанолу та використання різних видів рідинної хроматографії і гель-фільтрації йому вдалося виділити із ферментативного гідролізату загального казеїну декілька пептидних препаратів, які були стійкі до дії пронази і проявляли опіоїдну активність. У подальшому ці пептиди було названо казоморфінами [1]. За останні 20 років проведено ряд досліджень ферментативних гідролізітів казеїнів, отриманих *in vitro*, гастроінтестинальних гідролізітів, отриманих *in vivo*, а також синтетичних пептидів, які відповідали первинній структурі казеїнів. У результаті виявлено понад дві сотні біологічно активних пептидів, які можуть утворюватись при розщепленні різних фракцій білків казеїнового комплексу [2]. Такі пептиди впливають на функціонування різних фізіологічних систем організму. Зокрема, були ідентифіковані інгібітори ангіотензин-перетворювального фермента, агоністи та антагоністи опіатних рецепторів, імуномодуляторні пептиди, антитромботичні пептиди, біоактивні фосфопептиди. В наш час активно проводяться дослідження біоактивних пептидів з протеїнів молока, відкриваються нові види їх біологічної активності (антиканцерогенна, антивірусна дія та ін.) [3; 4].

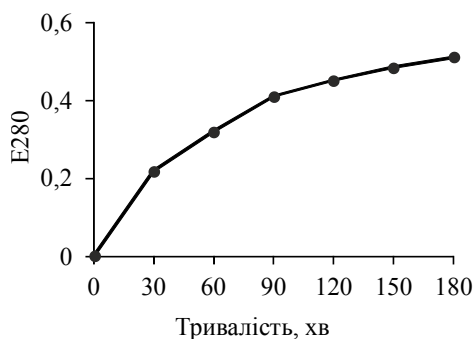
Фосфопептиди відносяться до найбільш цінних і перспективних функціональних інгредієнтів казеїнового походження. Основними властивостями казеїнових фосфопептидів є взаємодія з іонами металів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  та ін.), утворення з ними розчинних комплексів і сприяння їх адсорбції в кишечнику. Казеїнові фосфопептиди зазвичай отримують шляхом протеолізу загального казеїну ферментними препаратами тваринного (трипсин, хімо-трипсин, панкреатин, пепсин), а також рослинного або мікробіологічного походження. Очевидно, що лише природний спектр казеїнових фосфопептидів забезпечує транспорт іонів металів у травному тракті. При промисловому виділенні фосфопептидів цей спектр може змінюватися залежно від специфічності застосованих протеаз, а також способу осадження. Тому для отримання природних фосфопептидів нами були використані умови протеолізу казеїну, які характерні для травного тракту (рН, температура, склад протеаз). Іншими важливими факторами, що впливають на склад фосфопептидів, можуть бути умови їх осадження з гідролізітів різними розчинниками. Тому важливим залишається вибір розчинника, який може забезпечити повне виділення всього спектра природних казофосфопептидів.

**Мета дослідження:** порівняти вихід і молекулярно-масовий розподіл казеїнових фосфопептидів при використанні різних розчинників для їх осадження.

**Матеріали і методи.** Як субстрат для отримання фосфопептидів використовували загальний казеїн, який виділяли із свіжого знежиреного молока

подвійним переосадженням в ізоелектричній точці. Ферментативний гідроліз казеїнового субстрату проводили за дії панкреатину виробництва ПрАТ «Технолог» (Україна). Фосфопептиди із гідролізату виділяли селективним осадженням солями кальцію за наявності різних розчинників (етанолу, пропанолу, ізопропанолу, бутанолу), як описано раніше [5]. Гель-фільтрацію отриманих препаратів фосфопептидів здійснювали з використанням хроматографічної колонки фірми «Reanal» (Угорщина), заповненої сефадексом G-25 (fine) фірми «Pharmacia» (Швеція). Концентрацію фосфопептидів у всіх фракціях визначали спектрофотометрично. Математично-статистичний аналіз отриманих результатів проводили з використанням програми Microsoft Office Excel.

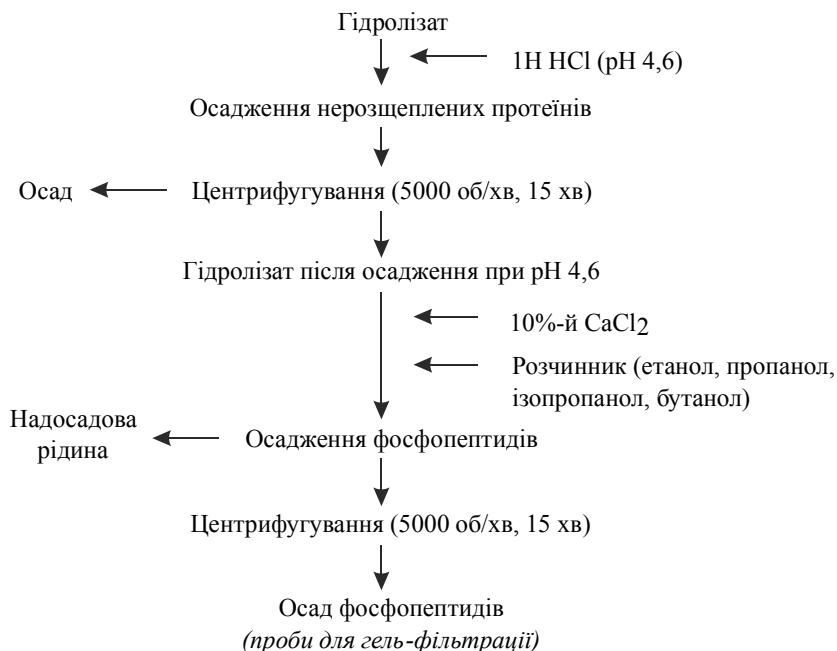
**Викладення основних результатів дослідження.** Раніше нами було обґрунтовано вибір оптимальних умов отримання нативних біоактивних фосфопептидів з протеїнів казеїнового комплексу коров'ячого молока [6]. Згідно з одержаними результатами протеоліз 9% казеїнового субстрату проводили за дії панкреатину в термостаті при температурі 37° С. Значення рН підтримували на рівні 7,9, що є оптимальним для використаного ферменту. Співвідношення «фермент:субстрат» задавали рівним 1:100. Ступінь протеолізу оцінювали через кожні 30 хв протягом 3 годин. При цьому із реакційної суміші відбирали по 5 мл гідролізату і додавали по 3 мл 10-процентної трихлороцтової кислоти. Осад нерозщеплених протеїнів відфільтровували, а розчинні продукти протеолізу розводили 5-процентною оцтовою кислотою і виміряли оптичну густину розчинів на спектрофотометрі СФ-46 при довжині хвилі 280 нм. На основі середніх значень п'яти вимірювань було побудовано криву інтенсивності протеолізу (рис. 1).



**Рис. 1. Протеоліз загального казеїну панкреатином при співвідношенні «фермент:субстрат» — 1:100**

Із рис. 1 видно, що швидкість протеолізу більша на початку процесу включно до 90-ї хвилини, після чого зростання інтенсивності протеолізу сповільнюється. Проведені раніше електрофоретичні дослідження показали, що на 90-й хвилині протеолізу окремі фракції високомолекулярних пептидів у гідролізаті відсутні, а загальний молекулярно-масовий розподіл пептидів нагадує такий розподіл при нормальному травленні, яке призводить до утворення природних біоактивних пептидів [3]. У зв'язку з цим із гідролізату,

отриманого на 90-й хвилині протеолізу, виділяли фосфопептиди за схемою, поданою на рис. 2.



**Рис. 2. Схема осадження фосфопептидів з використанням різних розчинників**

До гідролізатів, що містили розчинні у трихлороцтовій кислоті продукти, протеолізу додавали 10-процентний  $\text{CaCl}_2$  і один із спиртів: етанол, пропанол, ізопропанол, бутанол. Утворений осад фосфопептидів відділяли центрифугуванням, промивали відповідним спиртом, висушували до постійної маси і зважували. У табл. 1 представлені кількості фосфопептидів (мг) з 9 мл гідролізатів, отримані при осаженні різними спиртами. Як видно з табличних даних, найвищого виходу фосфопептидів було досягнуто при використанні етанолу (11,78%), найменший вихід був у випадку осаження бутанолом.

**Таблиця 1. Вихід фосфопептидів при осаженні із гідролізатів різними спиртами**

№ п/п	Назва спирту	Кількість фосфопептидів, мг ( $M \pm m, n = 5$ )	Вихід, %
1	Етанол	95,4±1,3	11,78
2	Пропанол	51,2±1,0	6,32
3	Ізопропанол	68,7±1,2	8,36
4	Бутанол	31,8±0,8	3,93

Висушені препарати фосфопептидів використовували для встановлення молекулярно-масового розподілу. Для цього була проведена гель-фільтрація на сефадексі G-25. Наважку фосфопептидів, осаджених різними спиртами з однакової кількості гідролізатів, розчиняли у хроматографічному буфері, що містив 6 М сечовину (pH 7,9). Нерозчинні фрагменти відфільтровували, а фільтрат наносили на колонку. Розділення проводили на колонці (2-70 см) з



набору для рідинної хроматографії фірми «Reanal» (Угорщина). Результати гель-фільтрацій показані на рис. 3 і 4.

Отримані хроматограми мають подібні профілі для таких пар: пропанол і бутанол; етанол і ізопропанол. У випадку пропанолу і бутанолу можна відзначити суттєве зменшення частки фосфопептидів із середньою (1000—3000 Да) і особливо з високою (3000—5000 Да) молекулярними масами в межах виключення сефадексу G-25. Найбільш повно всі види казеїнових фосфопептидів представлені при використанні етанолу. Цей розподіл узгоджується з молекулярними масами відомих природних казофосфопептидів [7].

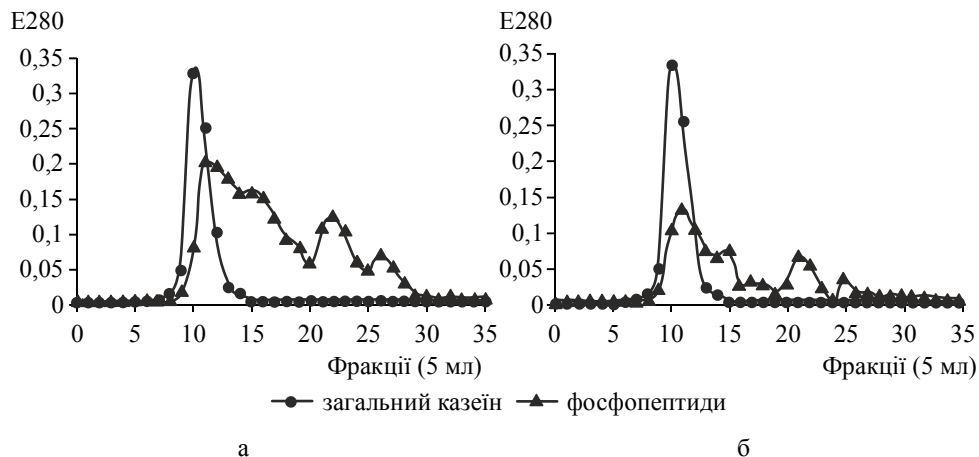


Рис. 3. Хроматограми фосфопептидів, отриманих при осадженні: а) етанолом; б) ізопропанолом

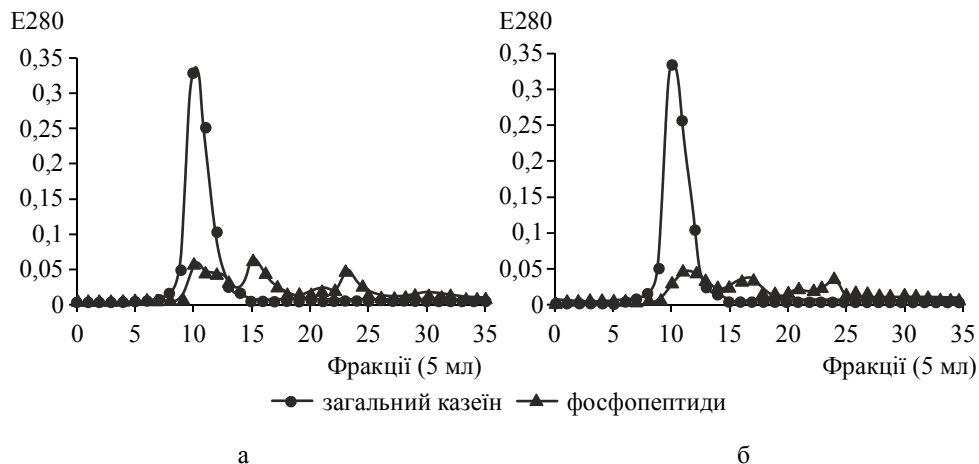


Рис. 4. Хроматограми фосфопептидів, отриманих при осадженні: а) пропанолом; б) бутанолом

### Висновки

Отримані результати свідчать, що з досліджуваних розчинників (етанол, ізопропанол, пропанол і бутанол) найбільший вихід біоактивних фосфопептидів

забезпечує використання етанолу (11,78%). У випадку пропанолу, ізопропанолу і бутанолу вихід фосфопептидів суттєво менший. Причому застосування пропанолу і бутанолу призводить до втрати частини фосфопептидів з молекулярною масою від 1000 до 5000 Да.

### Література

1. *Meisel H.* Biochemical Properties of Peptides Encrypted in Bovine Milk Proteins / H. Meisel // *Current Medicinal Chemistry.* — 2005. — V. 12. — P. 1623—1629.
2. *McSweeney P.L.H.* Advanced Dairy Chemistry. Volume 1B: Proteins: Applied Aspects. Fourth Edition / P.L.H. McSweeney, J.A. O'Mahony. — New York : Springer, 2016. — 498 p.
3. *Dairy Chemistry and Biochemistry (Second Edition)* / P.F. Fox, T. Uniacke-Lowe, P.L.H. McSweeney, J.A. O'Mahony. — New York: Springer, 2015. — 585 p.
4. Bovine milk proteins as the source of bioactive peptides influencing the consumers' immune system — a review / M. Sz wajkowska, A. Wolanciuk, J. Barlowska et al. // *Animal Science papers and Reports.* — 2011. — Vol. 29, # 4. — P. 269—280.
5. *Юкало В.Г.* Выделение фосфопептидов из общего казеина и его фракций / В. Юкало, Л. Сторож // *Maisto chemija ir technologija.* — 2013. — Т. 47, № 2. — P. 32—40.
6. *Юкало В.Г.* Визначення умов отримання природних біоактивних казеїнових фосфопептидів / В.Г. Юкало, Л.А. Сторож, М.О. Штокало // *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького.* — 2014. — Т. 16, № 3(60), Ч. 4. — С. 192—200.
7. Bioactive Casein Phosphopeptides in Dairy Products as Nutraceuticals for Functional Foods. In : *Milk Proteins*, Hurley W.L. (ed.) / G. Pinto, S. Caira, M. Cuollo et al. — Croatia : In Tech, 2012. — P. 3—44.

## **DEVELOPMENT OF SCIENTIFICALLY GROUNDED TECHNOLOGIES OF FOOD PRODUCTS OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE USING STRUCTURE FORMERS OF DIFFERENT ORIGIN**

V. Evlash, T. Kuznetsova, M. Artamonova, A. Foshan, N. Otroshko,  
I. Piliugina, Z. Zheleznyak

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

I. Vovchinsky, O. Kalugin

*V.N. Karazin Kharkiv National University*

---

**Key words:**

*Increased nutritional value*

*Gelatin*

*Agar*

*Molecular dynamics simulation*

*Cryopowder*

---

**Article history:**

Received 08.09.2017

Received in revised form 22.09.2017

Accepted 19.10.2017

---

**Corresponding author:**

V. Evlash

**E-mail:**

[npuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-16

---

**ABSTRACT**

According to the results of molecular dynamical modeling of aqueous solutions of agar and gelatine, it is recommended to use gelatin enriched with hydroxyproline for gelation in food systems. New technologies of confectionery products were developed: jelly marmalade on agar with gum additions of plant and microbial origin; fruit jelly enriched with vitamin C; marshmallow with cryopowders from Sudanese rose and chokeberry. The method of determination of vitamin C in confectionery products containing gelatin is developed, using the method of galvanostatic coulometry.

## **РОЗРОБКА НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКЦІЇ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧІВ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

В.В. Євлаш, Т.О. Кузнецова, М.В. Артамонова, А.Л. Фощан,  
Н.О. Отрошко, І.С. Пілюгіна, З.В. Железняк

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

І.С. Вовчинський, О.М. Калугін

*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна*

*За результатами молекулярно-динамічного моделювання водних розчинів агару та желатину рекомендовано використовувати желатин, збагачений*

гідроксипроліном для гелеутворення у харчових системах. Розроблено нові технології кондитерських виробів: мармелад желевий на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження; фруктове желе, збагачене вітаміном С, маршмелоу з криопорошками із суданської троянди та чорноплідної горобини. Розроблено методику визначення вітаміну С у кондитерських виробках, що містять желатин, із застосуванням методу гальваностатичної кулонометрії.

**Ключові слова:** підвищена харчова цінність, желатин, агар, молекулярно-динамічне моделювання, криопорошок.

**Постановка проблеми.** У статті наведено результати досліджень, які було одержано у межах науково-дослідної роботи «Розробка науково обґрунтованих технологій харчової продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження», що виконувалася за державним замовленням у 2015—2016 роках на базі Харківського державного університету харчування та торгівлі. Дослідження спрямовані на вирішення проблеми раціонального використання харчової сировини, у тому числі і структуроутворювачів різного походження, для харчової продукції підвищеної харчової цінності шляхом розробки та запровадження інноваційних конкурентоспроможних технологій.

Харчові структуроутворювачі включають в себе широку групу загусників, студнеутворювачів, піноутворювачів тощо. Ці інгредієнти вводять у харчові продукти в процесі їх виготовлення з метою регулювання консистенції та формування текстури.

Структуроутворювачі, які використовують у харчовій промисловості є, як правило, біополімерами, що мають вуглеводну або білкову природу. До них відносяться такі речовини, як: агар, агароїд, фурцеларан, альгінати (продукти переробки морських водоростей), желатин (продукт тваринного походження), пектини, крохмалі, камеді (продукти рослинного походження), ксантан, гелан (мікробні полісахариди) та ін.

Наразі в науковій літературі відсутні завершені теорії та концепції, що дають змогу однозначно прогнозувати технологічні та споживні властивості цукрових кондитерських виробів на основі знання молекулярної структури й природи структуроутворювачів, що використовуються для її виготовлення. Відсутні також і методики кількісного визначення функціонально-фізіологічних інгредієнтів, адаптовані для кондитерських виробів з використанням структуроутворювачів різного походження.

**Метою дослідження** є науково-теоретичне обґрунтування та розробка технологій харчової продукції — цукрових кондитерських виробів, збагачених фізіологічно-функціональними інгредієнтами, з використанням структуроутворювачів різного походження.

Для реалізації поставленої мети були окреслені такі завдання: дослідження фізико-хімічних і функціонально-технологічних властивостей; проведення молекулярно-динамічного моделювання й розроблення мікроскопічних моделей

структурних і динамічних властивостей розчинів та драглів зі структуроутворювачами різного походження; дослідження на модельних системах взаємодії структуроутворювачів різного походження з вітаміном С; розроблення методики визначення вітаміну С у харчовій продукції зі структуроутворювачами різного походження; підбір та обґрунтування введення структуроутворювачів різного походження до рецептурного складу цукрових кондитерських виробів зниженої собівартості для формування заданих органолептичних і функціонально-технологічних властивостей продукції.

**Матеріали і методи.** Для визначення вмісту аскорбінової кислоти у модельних системах, що містять крохмаль і желатин, використовували метод ВЖХ. В основу було покладено методику визначення водорозчинних вітамінів у полівітамінних препаратах методом HPLC [1], адаптовану авторами для визначення вітаміну С у модельних системах, що містять гідроколоїди.

**Результати і обговорення.** *Молекулярно-динамічне моделювання структурних і динамічних властивостей розчинів та драглів зі структуроутворювачами різного походження.*

Відсутність завершених теорій і концепцій, що дають змогу однозначно прогнозувати технологічні та споживні властивості цукрових кондитерських виробів на основі знання молекулярної структури й природи структуроутворювачів обумовили необхідність розробки відповідних молекулярних моделей. Було встановлено механізми утворення драглів зі структуроутворювачами різної хімічної природи (агар, желатин). Агар — один із найбільш поширених структуроутворювачів, що використовується в харчових технологіях. Відносна його дорожнеча обумовлює необхідність пошуку структуроутворювачів, що хоча б частково замінюють його в харчових виробках, у яких традиційно використовується винятково агар.

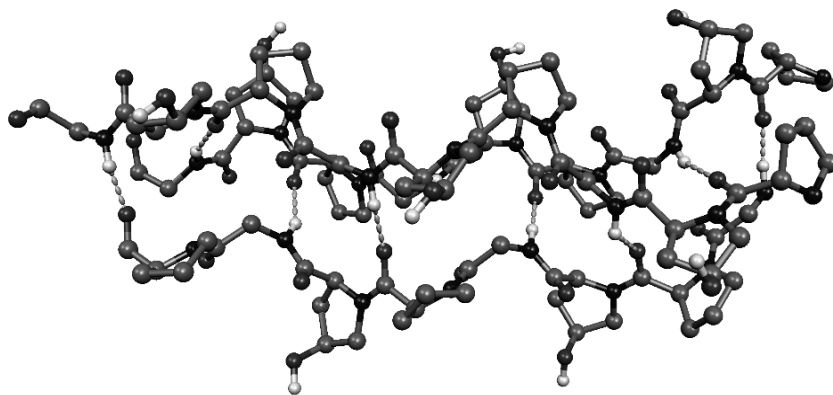
Одним із таких гелеутворювачів можуть бути розчини желатину (колагену). Велика різноманітність видів желатину залежно від вихідної сировини й технології виробництва є широко відомою [2]. Варіативність амінокислотного складу желатину добре характеризує той факт, що желатин може містити всі амінокислоти, крім триптофану, метіоніну, цистеїну та тирозину [3]. Подібна різноманітність складу обумовлює великий діапазон реологічних властивостей. Для розуміння впливу складу желатину на особливості гелеутворення необхідно досліджувати цю проблему на атомно-молекулярному рівні.

Авторами було проведено дослідження особливостей міжмолекулярної асоціації (агрегації) у водних розчинах агарози (AG) і колагену (Col), а також ролі водневих зв'язків на атомно-молекулярному рівні з використанням методу молекулярно-динамічного (МД) моделювання.

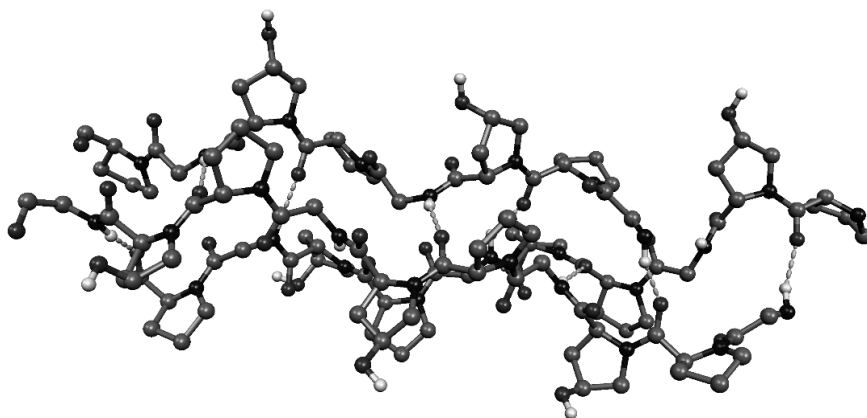
Було показано, що найважливішим проміжним етапом гелеутворення за участю колагену й агарози є утворення співвісних асоціатів (агрегатів) спіральних молекул.

Аналіз динамічної структури молекул тропоколагена, що складаються із трьох  $\alpha$ -ланцюгів колагену (позначених як A-B-C і D-E-F відповідно), у водному розчині показує особливу роль сітки водневих зв'язків між амінокислотними залишками  $\alpha$ -ланцюгів (рис. 1, 2).

Слід відзначити, що стабільність молекул тропоколагена (потрійних спіралей колагена) у водному середовищі забезпечується головним чином водневими зв'язками між -NH групами гліцину одного з  $\alpha$ -ланцюгів колагену й атомами кисню проліна іншого  $\alpha$ -ланцюгу. В середньому на приблизно 9 нм довжини в молекулі тропоколагена реалізується від 15 до 20 сильний водневих зв'язків. У той же час міжмолекулярна асоціація молекул тропоколагена здійснюється в основному за рахунок водневих зв'язків між гідроксипроліновими залишками амінокислот, що належать різним молекулам тропоколагена.



**Рис. 1.** Ділянка молекули тропоколагена А-В-С  
(внутрішньомолекулярні водневі зв'язки показані пунктиром)



**Рис. 2.** Ділянка молекули тропоколагена D-E-F  
(внутрішньомолекулярні водневі зв'язки показані пунктиром)

Для кількісної оцінки водневих зв'язків, що утворюються між тропоколагеновими молекулами, був проведений їхній квантово-хімічний аналіз у рамках квантової теорії Бейдера «Атоми в молекулах» (QTAİM) [4; 5]. За результатами цього аналізу встановлено, що донорні атоми кисню гідроксипроліна одного з  $\alpha$ -ланцюгів колагену однієї тропоколагенової молекули

утворюють, крім класичних (сильних) Н-зв'язків, з NH (гліцину) або OH (гідроксипроліну) групами  $\alpha$ -ланцюгів колагену іншої тропоколагенової молекули також і слабкі водневі зв'язки зі СН групами відповідних молекул, що пояснює високу динамічну стійкість співвісних тропоколагенових асоціатів (агрегатів) у водних розчинах.

Із вищесказаного було сформульовано важливий практичний висновок: для поліпшення гелеутворюючих властивостей колагену або подвійних систем на основі агароза+колаген (желатин) пропонується використовувати колаген, збагачений гідроксипроліновими залишками.

Отримані результати дають змогу спрогнозувати функціонально-технологічні властивості харчових систем і перебіг технологічного процесу отримання цукрових кондитерських виробів з використанням структуроутворювачів різного походження.

*Розробка технологій цукрових кондитерських виробів підвищеної харчової цінності на основі структуроутворювачів різної природи.*

Хімічний склад кондитерських виробів, як правило, характеризується низьким вмістом вітамінів, макро- і мікроелементів і значним — вуглеводів, у тому числі цукру, що зумовлює їх високу енергетичну цінність і обмежує використання для багатьох верств населення. До недоліків складу цих виробів також можна віднести широке застосування як регулятора кислотності лимонної кислоти, що спричиняє порушення обміну кальцію в організмі людини, та синтетичних смакоароматичних речовин.

Підвищити харчову цінність кондитерських виробів на основі структуроутворювачів різної природи можна за допомогою різних способів і прийомів. Найбільш перспективними з них є, по-перше, використання добавок з рослинної сировини, що дає змогу надати виробам бажаного кольору, смаку й аромату, зменшити витрати структуроутворювача, виключити з рецептури синтетичні барвники й ароматизатори, ввести до складу виробів вітаміни, пектинові речовини, фенольні сполуки, органічні кислоти тощо. По-друге, збагачення продукції есенціальними харчовими речовинами (вітаміни, макро- і мікроелементи, харчові волокна, поліненасичені жирні кислоти тощо).

Як рослинні добавки для кондитерської продукції використовують фруктовово-овочеві пюре, соки, пасти, порошки, екстракти з рослинної сировини, настої трав і лікарських рослин тощо. Особливо слід виділити добавки (кріопорошки), які одержують шляхом криогенного та дезінтеграторного подрібнення рослинної сировини, що дає змогу зберегти біологічно активні речовини та підвищити якість кінцевого продукту. Встановлено, що використання таких методів подрібнення призводить до додаткового переходу низькомолекулярних БАД і харчових речовин зі зв'язаного з біополімерами стану у вільний. Показано, що під час використання криогенного подрібнення рослинної сировини вихід екстрактивних біологічно активних речовин (БАР) підвищується у 1,5...2 рази, а швидкість екстракції — в 2...4 рази порівняно з традиційними методами [6].

Також розроблено *рецептури мармеладу на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження*. При розробці технологій цукристих кондитерських виробів на основі агару доцільно не тільки підвищувати харчо-

ву цінність кінцевого продукту, але й шукати шляхи зменшення вмісту агару, який, як уже зазначалося, має досить високу вартість. Нами було запропоновано використання камедей рослинного та мікробного походження, які мають здатність утворювати в'язкі водні розчини, синергетично взаємодіяти з іншими структуроутворювачами, що призводить до формування структурованих систем різної текстури.

Проведені дослідження довели доцільність використання камедей у технології мармеладу желейного формового і можливість зниження витрат агару на 40...60%. Було розроблено три рецептури мармеладу на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження, завдяки яким витрати агару зменшені на 50...60%; включення до рецептур концентрованих соків (абрикоса, полуниці та вишні) сприяло зниженню витрат лимонної кислоти до 60...75%, повному виключено ароматизаторів, синтетичних барвників і есенцій.

Наступний етап роботи був пов'язаний із розробкою технологій цукристих кондитерських виробів на основі желатину — желе та маршмелоу.

Желе — виріб, що виготовляється на основі свіжих, концентрованих або консервованих фруктових і ягідних соків та екстрактів, уварених з цукром. Желе — харчовий продукт, готовий до вживання і призначений для реалізації в закладах ресторанного господарства та роздрібною торгівлі. Існує значна кількість рецептур для желе. Найчастіше для його виготовлення використовують желатин у кількості 3%. Проведені дослідження міцності драглів желатину Bloom 240 (виробництва Німеччини) показали можливість зменшення вмісту желатину на 35%.

Вітамін С міститься у багатьох соках, але під час технологічних операцій виготовлення желе значна кількість його втрачається. Тому розробка технології желе, збагаченого вітаміном С, є актуальним завданням як для збереження здоров'я населення нашої країни, так і для розширення асортименту желейних виробів, представлених на ринку України.

Розроблено дві рецептури желе на основі яблучного соку, збагаченого вітаміном С. Внесення вітаміну С згідно з рецептурою часто не забезпечує необхідну фізіологічну дію після вживання продукту і може призводити до зниження біологічної доступності і засвоєння аскорбінової кислоти. Так, наприклад, під час збагачення вітаміном С желейних виробів частина аскорбінової кислоти може зв'язуватися структуроутворювачами, і при вживанні таких продуктів виводитися з організму людини.

У рамках даного дослідження було показано, що в модельних системах за наявності структуроутворювачів (желатину, модифікованого крохмалю) дані знайденого вмісту аскорбінової кислоти є істотно заниженими порівняно з внесеною кількістю. Причина занижених результатів може бути пов'язана з сорбційними властивостями гідроколідів.

Для вирішення цієї проблеми нами було розроблено методику визначення вмісту аскорбінової кислоти за наявності желатину в харчових системах із застосуванням методу гальваностатичної кулонометрії [7].

Оскільки вітамін С є водорозчинним вітаміном, його введення в цукрові кондитерські вироби не є проблемою. Набагато більші труднощі виникають,



якщо потрібно ввести будь-які жиророзчинні добавки (наприклад, жиророзчинні вітаміни, поліненасичені жирні кислоти) в продукт, який не містить жирів. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми може бути використання явища солюбілізації, тобто здатності розчинів колоїдних поверхнево-активних речовин (ПАР) розчиняти нерозчинні у воді речовини.

Відомо, що розчини желатину здатні виступати в ролі солюбілізатора [8], що дає змогу збагачувати кондитерські вироби на основі желатину жиророзчинними добавками.

Розроблено дві технології маршмелу підвищеної харчової цінності з використанням як драгле- та піноутворювача желатину з солюбілізованою соняшниковою олією. З метою повного виключення з рецептури синтетичних барвників та ароматизаторів в рецептуру було включено кріопорошки з суданської троянди й чорноплідної горобини.

Для раціонального використання відповідних кріопорошків у технології маршмелу необхідно було визначити стадію їх внесення у продукт та концентрацію, яка буде забезпечувати бажаний природний колір. Кріопорошки вводили у вигляді водно-спиртових екстрактів, які одержували за розробленими схемами [9], що відрізняються від традиційної тривалістю проведення, обраними екстрагентами, способом інтенсифікації та співвідношенням сировина:екстрагент.

За результатами модельних досліджень було встановлено, що введення екстрактів кріопорошків із суданської троянди та чорноплідної горобини є доцільним після збивання розчину желатину, оскільки у цьому випадку гасіння піни буде мінімальним. Оптимальну кількість екстракту кріопорошку для введення визначали за результатами органолептичного аналізу. Встановлено, що найкращі органолептичні показники нових виробів спостерігаються за умов додавання 3...4% водно-спиртового екстракту кріопорошку із суданської троянди і 8...10% екстракту з чорноплідної горобини від загальної маси системи.

Розроблена технологія маршмелу з рослинною добавкою антоціанової природи підвищеної харчової цінності [10; 11] відрізняється від традиційної тим, що як структуроутворювач використовують желатин з солюбілізованою соняшниковою олією. Введення до складу виробів екстрактів кріопорошків із суданської троянди та чорноплідної горобини дало змогу не тільки виключити штучні барвники і ароматизатори, але й зменшити рецептурну кількість лимонної кислоти на 11...23% та підвищити вміст біологічно активних речовин, низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних речовин, органічних кислот.

## **Висновки**

Проведено систематичне дослідження з розробки технологій харчових продуктів підвищеної харчової цінності на основі структуроутворювачів різної природи дає можливість виділити такі основні результати:

1. Здійснено молекулярне моделювання структурних і динамічних властивостей розчинів та драглів зі структуроутворювачами різного походження, а

саме: міжспіральної асоціації а) молекул тропоколагена між собою, б) молекули тропоколагена й подвійної спіралі агарози, що лежить в основі процесів гелеутворення. Розроблено мікроскопічні моделі структурних та реологічних властивостей розчинів структуроутворювачів та їх сумішей і механізми утворення відповідних драглів.

2. Розроблено технології мармеладу желейного формового на агарі з добавками камедей рослинного та мікробного походження, завдяки яким витрати агару зменшені на 50...60%; включення до рецептур соків концентрованих сприяло зниженню витрат лимонної кислоти до 60...75%, повному виключено ароматизаторів, синтетичних барвників і есенцій.

3. Розроблено технології желе, збагаченого вітаміном С, що дало змогу розширити асортимент желейних виробів функціонального призначення, а застосування желатину Bloom 240 (виробництва Німеччини) — зменшити вміст драглеутворювача на 35%.

4. Досліджено на модельних системах взаємодію структуроутворювачів різного походження (желатин, модифікований крохмаль) з вітаміном С, внесеним у різних концентраціях.

5. Розроблено методику визначення вмісту аскорбінової кислоти за наявності желатину в харчових системах із застосуванням методу гальваностатичної кулонометрії.

6. Розроблено технологію маршмелу з використанням желатину з солюбілізованою соняшниковою олією та екстрактів кріопорошків із суданської троянди та чорноплідної горобини. Експериментально обґрунтовано технологічні параметри виробництва нової продукції.

### Література

1. *Кожанова Л.А.* Определение водо-жирорастворимых витаминов в поливитаминных препаратах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Л.А. Кожанова, Г.А.Федорова, Г.И. Барам // Журнал аналит. химии. — 2002. — Т. 57, № 1. — С. 49—54.

2. *Phillips G.O.* Handbook of Hydrocolloids / G.O. Phillips, P.A. Williams. — Cambridge : Woodhead Publishing, 2009. — 948 p.

3. *Raja Mohd Hafidz R.N.* Chemical and functional properties of bovine and porcine skin gelatin / R.N. Raja Mohd Hafidz, С.М. Yaakob, I. Amin, A. Noorfaizan // International Food Research Journal. — 2011. — Vol. 18. — P. 813—817.

4. *Бейдер Р.* Атомы в молекулах. Квантовая теория / Р. Бейдер. — Москва : Мир, 2001. — 532 с.

5. *Калугин О.Н.* Методы молекулярного моделирования как инструмент исследования пищевых студней / О.Н. Калугин, И.С. Вовчинский, А.Л. Фошан, С.М. Губский, В.В. Евлаш // ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технології, енерго-ефективної переробки, зберігання та маркетингу : кол. моногр. — Харків : ХДУХТ, 2015. — С. 49—100.

6. *Гамуля Г.Д.* Нове в технології заморожування ягід у швидкоморозильному апараті із застосуванням газоподібного азоту / Г.Д. Гамуля, Р.Ю. Павлюк, Т.В. Крячко [та ін.] / Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі : міжн. наук.-практ. конф., 19 листопада 2008 р. : [присв. 70-річчю з дня народж. д-ра техн. наук, проф. члена коресп. ВАСГНІЛ Беляєва М. І.]: тези у 2 ч. / редкол. : О.І. Черевко [та ін.]. — Харків : ХДУХТ, 2008. — Ч. 1. — С. 198—199.

7. Пат. 110349. Спосіб оцінки вмісту аскорбінової кислоти у харчових системах, що містять гідро колоїди / Євлаш В.В., Аксьонова О.Ф., Губський С.М., Железняк З.В., Фощан А.Л. — U 201602527; заявл. 15.03.2016 ; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 19. — 4 с.

8. *Derkatch S.R.* Solubilization of oleophilic compounds in gelatin solutions containing surfactant / S.R. Derkatch, N.G. Voron'ko, V.N. Izmailova // *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects.* — 2003. — Vol. 223(1—3). — P. 1—9.

9. *Артамонова М.В.* Удосконалення технологій мармеладно-пастильних виробів з використанням рослинних добавок отриманих за кріотехнологіями / М.В. Артамонова, І.С. Пілюгіна, Н.В. Шматченко // *ПОВНОЦІННЕ ХАРЧУВАННЯ: інноваційні аспекти технології, енергоефективної переробки, зберігання та маркетингу* : кол. моногр. — Харків : ХДУХТ, 2015. — С. 144—171.

10. Пат. 103617. Маршмелоу з рослинними добавками / Артамонова М.В., Пілюгіна І.С., Гальчинецька Ю.Л. — U2015 05780; заявл 10.07.15 ; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24. — 4 с.

11. Пат. 110126. Маршмелоу з рослинною добавкою антоціанової природи / Артамонова М.В., Пілюгіна І.С. — U2016 03338; заявл 31.03.16 ; опубл. 26.09.2016, Бюл. № 18. — 4 с.

## OZONATION OF MILK INDUSTRY FLUIDS

V. Zakharov, Yu. Zmievskii, I. Biletska, V. Myronchuk

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

Ozone  
Organic pollution  
Ozone-gas mixture  
Wastewater  
Milk industry

**Article history:**

Received 10.09.2017  
Received in revised form  
29.09.2017  
Accepted 16.10.2017

**Corresponding author:**

V. Zakharov

**E-mail:**

npuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article deals with the influence of the temperature of the treated solution and medium, the time of ozone processing and the rate of pumping ozone-gas mixture on the efficiency of the ozonation process. The mechanism of decomposition of dissolved ozone in liquids is described. The solution of nanofiltration permeate obtained at laboratory facilities was studied. It was treated at different temperatures, processing time and the rate of supply of ozone-gas mixture. The treatment of the solution with ozone and the further removal of oxidized organic impurities on the coal filter made it possible to reduce the rate of chemical consumption of oxygen by 96%, namely from 11400 mg O<sub>2</sub>/l to 448 mg O<sub>2</sub>/l.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-17

---

## ОЗОНУВАННЯ РІДИН МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В.В. Захаров, Ю.Г. Змієвський, І.М. Білецька, В.Г. Мирончук

Національний університет харчових технологій

*У статті розглянуто вплив температури оброблюваного розчину та середовища, часу обробки озоном та швидкості прокачування озono-газової суміші на ефективність процесу озонування. Описано механізм розпаду розчиненого озону в рідинах. Для досліджень використовувався розчин нанofільтраційного пермеату, отриманий на лабораторних установках. Розчин піддавався обробці при різних температурах, тривалості обробки та швидкості подачі озono-газової суміші. Обробка розчину озоном і подальше видалення окислених органічних домішок на вугільному фільтрі дало змогу зменшити показник хімічного споживання кисню на 96% — з 11400 мг O<sub>2</sub>/л до 448 мг O<sub>2</sub>/л.*

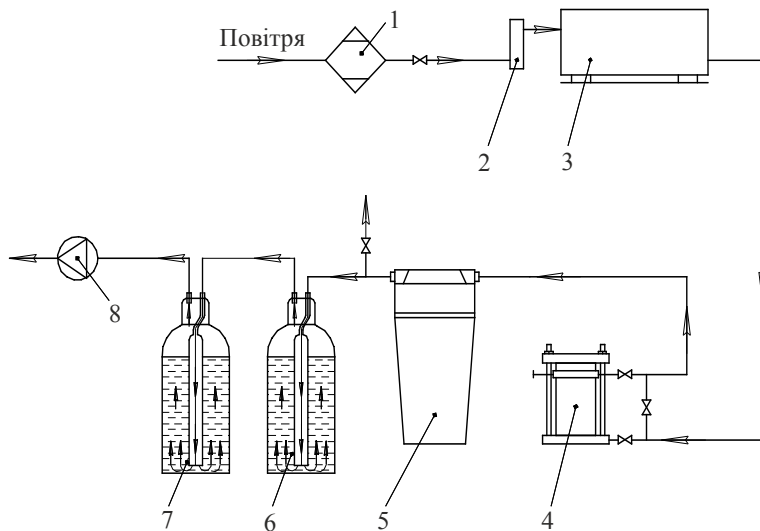
**Ключові слова:** озон, органічне забруднення, озono-газова суміш, стічні води, молочна промисловість.

**Постановка проблеми.** Озонування поступово знаходить застосування у харчовій промисловості, проте більшість способів його використання — це дезінфекція виробничих приміщень і забезпечення мікробіологічної чистоти продуктів [1—3]. Новим цікавим методом використання озонування є очистка рідин харчової промисловості від органічних і бактеріальних забруднень з метою їх подальшого використання у технологічних процесах або

отримання з них цінних мінеральних компонентів. Враховуючи суттєві капітальні та експлуатаційні затрати на впровадження методу озонування, необхідно встановити доцільність та ефективність його використання [4—6]. Тому для кожного конкретного випадку необхідно проводити передпроектні дослідження, за результатами яких можна обґрунтовано судити про доцільність застосування цього процесу та визначити його техніко-економічні показники.

**Мета дослідження:** обґрунтувати доцільність використання процесу озонування для очистки рідин молочної промисловості.

**Матеріали і методи.** *Будова та принцип дії лабораторної установки.* Експерименти проводились на лабораторній установці, принципова схема якої наведена на рис. 1. Принцип дії установки: після включення вакуум-насоса 8 повітря проходить через осушувач 1, заповнений селікогелем. Швидкість прокачування повітря контролюється ротаметром 2. В озонаторі 3, за рахунок «тихого» розряду, з кисню в повітрі отримується озон. Отримана озono-газова суміш надходить у реактор 4 та проходить через шар оброблюваного розчину. Оскільки розчин може містити ПАР (поверхнево-активні речовини), які сприяють утворенню піни, після реактора встановлено ємність для піновловлення 5. Далі озono-газова суміш поступово потрапляє у дві склянки Дрекселя 6 та 7 з розчином йодиду калію (KI). Суміш газів, що залишилась, виводиться у атмосферу через вакуум-насос, який і забезпечує розрідження в системі.



**Рис. 1. Принципова схема лабораторної установки для озонування:**

1 — осушувач повітря; 2 — ротаметр; 3 — озонатор; 4 — реактор; 5 — ємність для піновловлення; 6 — 1-а склянка Дрекселя; 7 — 2-а склянка Дрекселя; 8 — вакуум-насос

*Розчини.* Для дослідів використовували нанофільтраційний пермеат молочної сироватки. Для його отримання використовували проточну нанофільтраційну установку з рулонним модулем. Площа мембрани, виготовленої фірмою Keense Technology Co., Ltd. (Китай), становила 0,56 м<sup>2</sup>.

*Метод визначення загального вмісту органічних речовин.* Для оцінювання ефективності обробки розчину визначали хімічне споживання кисню (ХСК) методом Кубеля. ХСК є узагальнюючим показником кількості органічних речовин. Цей метод вимірювання ґрунтується на окисненні органічних і неорганічних речовин, що містяться у розчині, калієм двохромовоокислим у кислому середовищі при кип'ятінні. Частина калію двохромовоокислого відновлюється наявною речовиною, що здатна до окислення, а залишок відтитровується розчином амоній-заліза (II) сірчаноокислого. Величину хімічного споживання кисню розраховують за кількістю відновлюваного калію двохромовоокислого. 1 моль калію двохромовоокислого відповідає 1,5 молям кисню (O<sub>2</sub>).

*Метод визначення озону (йодометричний метод).* Суть йодометричного методу полягає в реакції озону з йодом та його подальшим відтитруванням тіосульфатом. Методом, взятим за основу, є ГОСТ 18301-72 «Методи визначення залишкового озону». Кількість озону визначають перерахунком затраченого тіосульфату на титрування.

*Методика проведення експерименту.* За схемою, наведеною на рис. 1, збирається дослідна установка. Система перевіряється на герметичність. без робочих і досліджуваних розчинів, при роботі вакуум-насоса. Далі досліджуваний розчин заливається в реактор для озонування, а у склянки Дрекселя заливається розчин калій йодиду (KI). Вмикається вакуум-насос і озонатор, розпочинається відлік встановленого на процес озонування часу. Під час експерименту стабільність витрат озono-повітряної суміші контролюється ротаметром. Після закінчення відведеного на експеримент часу насамперед вимикається живлення озонатора. Потім відкривається клапан, встановлений між ємністю для уловлення піни і 1-ю склянкою Дрекселя. Це робиться для того, щоб скинути утворене в системі розрідження. Лише після цього вимикається живлення насоса. Зі склянок Дрекселя відбирається необхідна кількість проб для йодометрії, а з реактора для озонування відбираються проби на дослідження ХСК. Розчини, які залишилися у пастках та реакторі, зливаються, а ємності промиваються.

**Результати та їх обговорення.** До основних параметрів, які впливають на ефективність озонування, належать час контакту з озono-газовою сумішшю, швидкість її прокачування, концентрація озону в озono-газовій суміші, рН оброблюваних розчинах.

*Час.* Час контакту озону з оброблюваним розчином впливає на повноту реакції і насичення розчину заданою кількістю озону, тобто скільки часу необхідно обробляти розчин при певній концентрації озону в озono-газовій суміші. Цей параметр досліджувався шляхом озонування нанофільтраційного пермеату молочної сироватки протягом різного часу. Ступінь окислення визначалась за показником ОВП (окисно-відновний потенціал — міра окислювальної або відновлювальної здатності середовища). За показником ОВП можна оцінити насичення розчину озоном. При насиченні озоном збільшується показник ОВП розчину. Залежність ОВП від часу обробки озоном наведено на рис. 2.

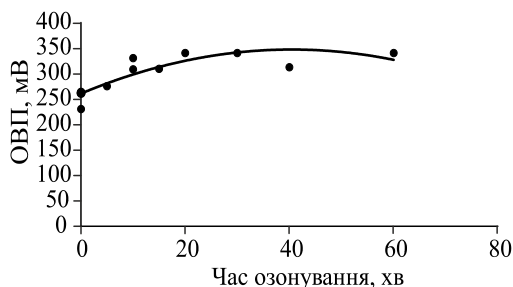


Рис. 2. Графік зміни ОВП з часом

Швидкість прокачування озono-газової суміші й температура були постійні і склали 3 л/хв та 28° С, відповідно. Як видно з графіка, розчин нанофільтраційного пермеату вже на 20 хв досягає піку насичення озono-газовою сумішшю. Проте вже на 10 хв насичення складає 90—94% від максимального. Отже, раціональний час при заданих інших параметрах складає 10 хв. Саме такою була тривалість наступних експериментів.

*Швидкість прокачування.* Швидкість прокачування озono-газової суміші — один із найпростіших способів регулювання подачі озону. Не змінюючи робочі параметри озонатора, а змінивши режим роботи насоса, можна збільшити кількість озону, який подається у систему. Залежність кількості поданого озону від швидкості прокачування озono-газової суміші наведено на рис. 3. Виходячи з попередніх досліджень, час озонування складав 10 хв. З графіка видно, що при підвищенні швидкості прокачування озono-газової суміші через систему в озонаторі генерується більше озону. Це пояснюється кращим охолодженням розрядної камери, зменшенням термічного розпадання озону. Виходячи з технічних можливостей лабораторної установки, подальші експерименти проводились при швидкості прокачування 3,5 л/хв. За таких умов концентрація озону в газовій фазі становила 0,18...0,25 мг/л.

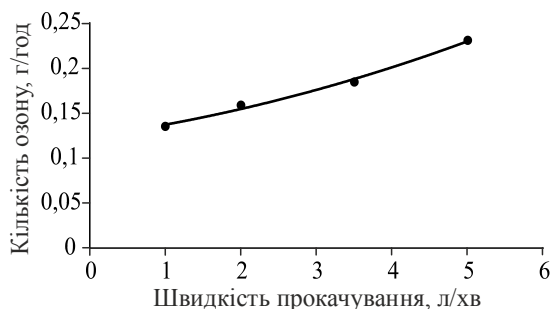


Рис. 3. Залежність кількості виробленого озону від витрат озono-газової суміші

*Температура.* Необхідно враховувати показник температури як оброблюваних розчинів, так і середовища (повітря, яке подається на озонатор). З підвищенням температури оброблюваного розчину зменшується розчинність озону у воді. Зростання температури повітря збільшує швидкість його розпаду. У технологічних процесах температура оброблюваної рідини в більшості

випадків не змінюється і є постійною, а при необхідності її можна регулювати. У свою чергу, температура повітря змінюється протягом року, і регулювати цей показник перед подачею на озонатор не завжди доцільно.

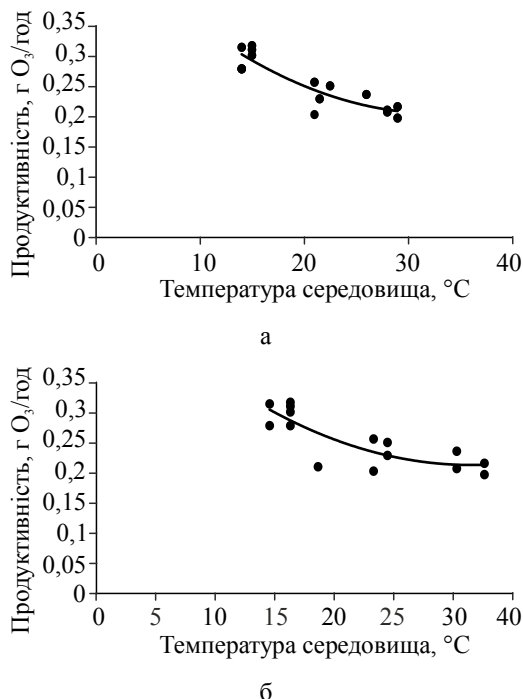


Рис. 4. Залежність: а) продуктивності озонатора від температури повітря; б) розчинності озону від температури оброблюваного розчину

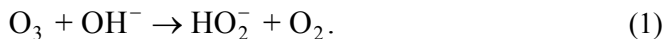
Важливо провести аналіз температурних режимів, при яких відбуватиметься робота станції озонування. Аналіз температур за останні 20 років у період найбільш активної роботи (липень-жовтень) підприємств харчової промисловості України показав, що вони варіюються у межах 15...30° С. Як видно з рис. 4, при підвищенні температури з 15° С до 30° С, за однакових інших умов, відбувається поступове зниження продуктивності озонатора на 33%, що означає меншу ефективність таких установок у літній (спекотний) період. Це обов'язково необхідно враховувати при застосуванні процесу озонування. Узагальнюючи сказане, можна зазначити, що на кожні 15° С підвищення температури ефективність озонування зменшується приблизно на 30...35%.

*pH*. рН розчину має важливе значення, оскільки залежно від нього змінюється коефіцієнт розчинності озону  $R_r$ . Оптимальні значення рН лежать у межах нейтрального або слабкислого середовища [7], яким і є молочна сироватка (5...7 рН).

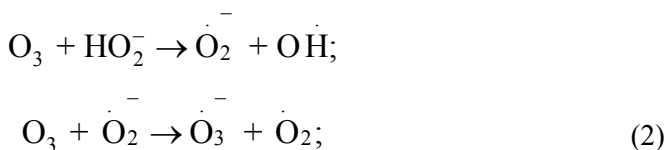
Процес окислення органічних речовин при взаємодії з озоном насамперед відбувається за рахунок їх реакції. Проте також необхідно мати на увазі, що у водних розчинах озон розпадається, утворюючи кисень, який також вступає в процес окислення [7; 8].



Стадія ініціювання розпаду озону у водних розчинах може бути описана формулою [7; 8]:

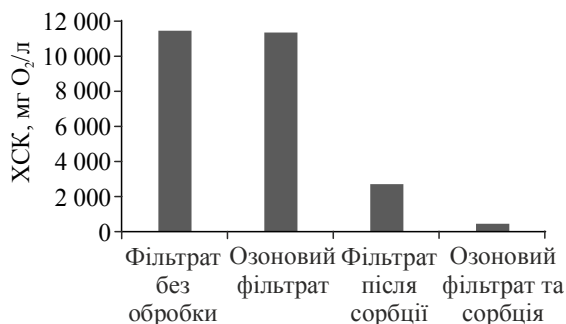


Подальша взаємодія озону з гідропероксидрадикалом  $\text{HO}_2^-$  призводить до утворення радикалів  $\dot{\text{O}}_2^-$  та  $\dot{\text{O}}_2$  та іон-радикалів  $\text{OH}^\cdot$  та  $\text{OH}^-$ . Далі схему реакції у спрощеному виді можна представити так [7; 8]:



Змінювати рН оброблюваних розчинів недоцільно, оскільки це спричиняє додаткові затрати. Необхідно проводити аналіз величини рН отриманих розчинів. Так, наприклад, молочна сироватка та її нанофільтраційний пермеат мають показник рН 4,8...7,2, що лежить в оптимальних межах для проведення процесу озонування.

*Вміст органічних речовин.* Після обробки розчину озоном зменшилась мутність розчину та зник яскраво виражений запах молока. Різниця вмісту органічних речовин у розчині до та після обробки озоном майже відсутня.



**Рис. 5. Вміст органічних речовин у модельному розчині**

Проте у разі підвищення концентрації озону до 25 мг/л можна зменшити показник ХСК у 2,5 раза [9]. Помітним є ефект окислення озоном органічних домішок, що дає змогу краще видаляти їх на вугільному фільтрі (2700 мг O<sub>2</sub>/л після сорбції порівняно з 448 мг O<sub>2</sub>/л з попереднім озонуванням). Це збільшення ефективності вугільного фільтра більше ніж у 6 разів.

### **Висновки**

Завдяки використанню процесу озонування було досягнуто вмісту органічних речовин у нанофільтраційному пермеаті молочної сироватки в межах 448 мг O<sub>2</sub>/л, тобто на 96% від початкового значення. Показники температури

та рН наближені до оптимальних, за яких можна проводити процес озонування без будь-якої попередньої підготовки. Доцільний час обробки 10 хв. Подальші дослідження мають бути спрямовані на досягнення повного видалення органічних домішок з розчинів.

### Література

1. Sequential Treatment of Tequila Industry Vinasses by Biopolymer-based Coagulation / Flocculation and Catalytic Ozonation / [H. Ferral-Pérez, H. Torres Bustillos, L. Méndez та ін.] // *Ozone: Science & Engineering*. — 2016. — # 38. — P. 279—290.
2. Karaca H. Use of Ozone in the Citrus Industry / Hakan Karaca // *Ozone: Science & Engineering*. — 2010. — # 32. — P. 122—129.
3. Shigezo N. Ozone Contribution in Food Industry in Japan / N. Shigezo, H. Takahara. // *Ozone: Science and Engineering*. — 2006. — # 28. — P. 425—429.
4. Очистка сточных вод / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсек, Э. Арван. — Москва : Мир, 2008. — 471 с.
5. Degremont. Технический справочник по обработке воды. Том 1. / [L. Andriamirado, D. Asensi, S. Baig та ін.]. — Санкт-Петербург : Новый журнал, 2007. — 878 с.
6. Degremont. Технический справочник по обработке воды. Том 2. / [L. Andriamirado, D. Asensi, S. Baig та ін.]. — Санкт-Петербург : Новый журнал, 2007. — 920 с.
7. О растворимости озона в воде / [Г.В. Егорова, В.А. Вобликова, Л.В. Сабитова та ін.]. // *Вест. Моск. Ун-та. Сер. 2. ХИМИЯ*. — Т. 56. № 5. — 2015. — С. 261—265.
8. Пат. 2146656 РФ, МПК7C02F 1/78. Способ ускорения реакции озона при очистке воды (варианты) / Е. Мотонобу, М. Акира, К. Икуо, М. Казухиро; владелец: Канзай Электрик Поувер Ко., Инк. (JP), № 98124077/12, Заяв. 25.12.1998; опубликовано 20.03.2000.
9. Захаров В.В. Обробка промислових стоків молокопереробних підприємств озоном. Попередні результати. / В.В. Захаров, Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук. // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв»*. — Харків, 2016. — С. 167—173.

УДК 631.5

## **DETERMINING THE EFFECT OF INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS ON THE FORMATION OF COLOR OF FRUITS BY MEANS OF COLOR PARAMETERS**

**O. Cherevko, A. Dubinina, V. Mykhailov, T. Shcherbakova, S. Lenert**  
*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

<p><b>Key words:</b>  <i>Consumer properties</i>  <i>Fruit raw material</i>  <i>Color</i>  <i>CIE XYZ system</i>  <i>Dominant wavelength</i>  <i>Purity of color</i>  <i>Brightness</i></p> <hr/> <p><b>Article history:</b>                  Received 07.09.2017                  Received in revised form 23.09.2017                  Accepted 17.10.2017</p> <hr/> <p><b>Corresponding author:</b>                  O. Cherevko  <b>E-mail:</b>                  npnuht@ukr.net</p>	<p><b>ABSTRACT</b></p> <p>The article presents the results of spectrophotometric studies of the component composition of the pigment complex of plant material. A complex of color-parametric characteristics of apples, cherries and plums was obtained with the help of diffuse reflection spectroscopy according to the model of International Commission on Illumination (CIE). The color of the test samples was evaluated visually, as well as by the color parameters in the CIE XYZ system: dominant wavelength (<math>\lambda</math>, nm), brightness (T, %) and color purity (P, %) calculated from the experimental reflection spectra. The dependence of fruit raw material color change on its pigment transformation under the influence of external factors was established. According to the experimental studies, it was concluded that the colorimetric characteristics significantly facilitate the assessment of the color of the plant material during its processing under the influence of various factors and are in good agreement with the visual assessment of color.</p> <hr/> <p><b>DOI:</b> 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-18</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВНУТРІШНІХ І ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ КОЛЬОРУ ФРУКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЛЬОРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**О.І. Черевко, А.А. Дубініна, В.М. Михайлов, Т.В. Щербакова, С.О. Ленерт**  
*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

*У статті представлено результати спектрофотометричних досліджень компонентного складу пігментного комплексу рослинної сировини. Отримано комплекс кольоропараметричних характеристик плодів яблук, вишні та сливи за допомогою методу спектроскопії дифузного відбиття із колірною моделлю CIE (Commission Internationale de l'Eclairage — International Commission on Illumination). Колір дослідних зразків оцінювався візуально, а також за допомогою параметрів кольору у системі CIE XYZ (домінуюча довжина хвилі ( $\lambda_{\text{дом}}$ , нм), яскравість (T, %), чистота кольору (P, %)), які були розраховані за експериментальними спектрами відбиття. Встановлено залежність зміни кольору фруктової сировини від перетворення її пігментного комплексу під дією зовнішніх чинників. За проведеними експериментальними дослідже-*

нями зроблено висновок, що кольоропараметричні характеристики суттєво полегшують оцінку кольору рослинної сировини під час її переробки під дією різних чинників і добре узгоджуються з візуальною оцінкою кольору.

**Ключові слова:** споживні властивості, фруктова сировина, колір, система CIE XYZ, домінуюча довжина хвилі, чистота кольору, яскравість.

**Постановка проблеми.** Кожен продукт відповідно до вимог нормативної документації характеризується визначальними показниками якості, з яких у багатьох випадках колір — це перша ознака якості і свіжості продукції. Взаємозв'язок якості й кольору особливо проявляється для продуктів рослинного походження, оскільки це обумовлено тісною кореляцією між кольором та вмістом барвних речовин (хлорофілів, каротиноїдів і речовин фенольної природи). Здебільшого, це нестійкі сполуки, які легко змінюються під впливом багатьох чинників, що призводить до незворотної зміни хімічного складу пігментного комплексу, знебарвлення або зміни природного кольору, появи невластивих вихідній сировині відтінків. При цьому необхідно враховувати, що під час вибору як свіжих овочів і фруктів, так і продуктів їх переробки споживач керується головним чином зоровою оцінкою: дослідженнями експертів було встановлено, що 87% споживачів обирають продукт за їх зовнішнім виглядом, 3,5% — за ароматом, 1,5% — за дотиковими відчуттями, 1% — після опробування на смак, останні — за інших причин. Тому збереження кольору вихідної сировини під час її переробки та об'єктивна оцінка кольору є актуальною проблемою [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Систематизація літературних даних щодо хімічного складу фруктової сировини дала змогу визначити речовини, які формують її колір. Зелений колір обумовлений хлорофілами ( $a + b$ ), забарвлення рослинної сировини від жовтого до оранжево-червоного обумовлено вмістом каротиноїдів — безкисневих каротинів і кисневмісних ксантофілів.

Серед природних пігментів широко розповсюджені поліфеноли. Це велика група органічних сполук, які відрізняються за хімічною будовою, але мають деякі загальні ознаки. Водорозчинні поліфенольні речовини обумовлюють забарвлення фруктів і овочів у жовтий колір (флавоноли) та від рожевого до темно-синього (антоціани). Вміст їх у рослинній сировині складає від 2,0...2000 мг%. Характерною рисою поліфенольних сполук є легке окислення з утворенням високореактивних проміжних продуктів типу семіхінонних радикалів або ортохінонів, здатність до взаємодії з білками за рахунок утворення водневих зв'язків, а також схильність до комплексоутворення з іонами металів [3—5].

Численними дослідженнями встановлено, що природні барвні речовини є лабільними. Вплив зовнішніх і внутрішніх чинників під час переробки призводить до трансформації природних пігментів, що негативно впливає не тільки на вихідний колір, але й на якість продукції в цілому. Ці перетворення мають достатньо складний характер, тому вивчення їх закономірностей є необхідним для обґрунтування способів переробки фруктової сировини, що зменшуватимуть їх негативний вплив [6; 7].

**Мета дослідження:** визначення компонентного складу пігментного комплексу та кольорових характеристик фруктової сировини, а також взаємозв'язку перетворення речовин пігментного комплексу під дією різних чинників зі зміною кольору вихідної сировини.

**Викладення основних результатів дослідження.** Поліфенольний комплекс фруктів, який формує колір сировини, представлений флавонолами та антоціанами. Проте на формування кольору впливають також безбарвні речовини лейкоантоціани та катехіни, оскільки характерною рисою цих сполук є легке окислення з утворенням забарвлених кінцевих продуктів реакції, які викликають потемніння (покоричневіння) готового продукту.

Об'єктами досліджень обрано зразки фруктів з різним компонентним складом флавоноїдів і кольором: світлозабарвлені (яблука), забарвлені у червоний колір (вишня), забарвлені у синьо-фіолетовий колір (слива).

Проведений аналіз за допомогою спектрофотометра водно-спиртових і гексанових екстрактів з фруктів дав змогу визначити кількісний склад пігментів. За результатами досліджень встановлено, що головними речовинами флавоноїдів яблук сорту Антонівка є лейкоантоціани та катехіни, барвні речовини — антоціани — відсутні, вміст хлорофілів і каротиноїдів складає 0,55 мг% та 0,53 мг% відповідно. Колір плодів вишні та сливи формується за рахунок антоціанів, їх вміст для вишні сорту Любська складає 1183,5 мг%, для сливи сорту Угорка — 1214,0 мг% відповідно. У плодах сливи також визначений вміст хлорофілів у кількості 1,54 мг% (табл. 1).

*Таблиця 1. Компоненти пігментного комплексу фруктів ( $S_r = 0,05$ ,  $n = 5$ ,  $p = 0,95$ )*

Вміст речовин пігментного комплексу, мг%	Яблука сорту Антонівка	Вишня сорту Любська	Слива сорту Угорка
Антоціани	—	1 183,5	1 214,0
Лейкоантоціани	255,2	437,9	521,5
Катехіни	168,1	84,6	152,1
Флавоноли (у перерахунку на кверцетин)	9,4	29,7	62,6
Хлорофіли	0,55	відс.	1,54
Каротиноїди	0,53	0,21	≤ 0,10

З метою визначення кольорових характеристик зразків фруктової сировини були отримані спектральні коефіцієнти відбиття  $R_f$ , за якими за допомогою математичної обробки визначали характеристики кольору в триколіриметричній системі координат. Результати показали, що домінуюча довжина хвилі ( $\lambda_{\text{дом}}$ , нм) характеризує жовто-зелений колір зразків яблук і червоний колір плодів вишні. Визначені триколірні координати  $x$ ,  $y$ ,  $z$  для зразків яблук за значеннями близькі між собою, що вказує на приближення кольору до білого. На це вказує також і низьке значення чистоти кольору  $P = 17,3 \pm 0,5\%$ , оскільки найбільшою чистотою кольору характеризуються монохроматичні кольори, ахроматичні кольори мають значно нижчі значення параметра  $P$ , які наближаються до нуля.

Таким чином, колір зразка відноситься до ахроматичного білого із слабо вираженим жовтим відтінком. Для вишні значення параметра  $P = 77,5 \pm 2,3\%$  вказує на суттєвий внесок червоної складової у загальний колір і відповідає

візуальній оцінці. Для зразків сливи основною складовою кольору за цим параметром ( $P = 63,3\%$ ) також є червона.

Отже, склад поліфенольного комплексу досліджених плодів суттєво впливає на їх природне забарвлення. Крім того, визначений зв'язок параметрів кольоровості зразків із візуальною оцінкою кольору (табл. 2).

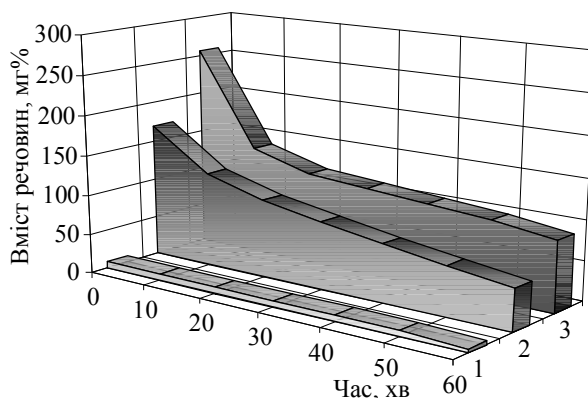
Досліджено залежність кольору фруктової сировини від перетворення її пігментного комплексу під час переробки. На першому етапі експерименту подрібнені яблука витримували на повітрі при кімнатній температурі ( $20 \pm 2^\circ \text{C}$ ) протягом 60 хв, зміни порівнювали з вихідним зразком. Контролювали вміст поліфенольних речовин, зміну кольору зразків.

*Таблиця 2. Характеристики кольору дослідних зразків ( $S_r = 0,05$ ,  $n = 5$ ,  $p = 0,95$ )*

Дослідні зразки	Домінуюча довжина хвилі	Яскравість	Чистота кольору	Візуальна оцінка кольору зразків
	$\lambda$ нм	$T$ , %	$P$ , %	
Сорт яблук Антонівка	515,3	56,9	17,3	Білий з кремовим відтінком
Сорт вишні Любська	630,7	39,4	77,5	Яскраво-червоний
Сорт сливи Угорка	606,3	37,8	63,3	Червоно-фіолетовий

Ферментативний процес окислювальних перетворень поліфенолів і різних їх форм відбувається з максимальною швидкістю вже у перші хвилини з моменту подрібнення плодів. У результаті проведеного експерименту встановлено, що активність окислювальних ферментів досить висока.

З визначених фракцій катехіни і лейкоантоціани — найбільш лабільні сполуки, кількість яких уже через 10 хв знизилася до 119,4 мг% та 135,8 мг% відповідно, через 20 хв — до 51,8 мг% та 88,3 мг% відповідно, при подальшому витримуванні вони вже не визначаються. При цьому відзначено також зниження вмісту флавонолів з 8,1 мг% до 4,8 мг% через 10 хв та 60 хв відповідно (рис. 1).



**Рис. 1. Вміст речовин поліфенольного комплексу яблук залежно від часу витримування при температурі  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ : 1 — флавоноли, 2 — катехіни, 3 — лейкоантоціани**

Поряд з окисленням поліфенольних речовин спостерігалася швидке покоричневіння м'якоті плодів. Найбільша зміна забарвлення помітна через

30...60 хв по всій масі подрібнених яблук. Цей факт пояснюється тим, що первинні продукти окислення поліфенолів мають незначне забарвлення, що підсилюється в міру утворення більш окислених флорафенів.

Отримані спектри відбиття зразків яблук і розраховані характеристики кольору дослідних зразків показали, що окислення призводить до зсуву домінуючої довжини хвилі до 581...585 нм порівняно із контролем, чистота кольору зразка після 30 хв витримування становить 26,1 % завдяки появі жовтого кольору, після 60 хв витримування зменшується до 10,5% за рахунок насиченого коричневого відтінку (рис. 2). Таким чином, за зміною забарвлення подрібненої маси плодів яблук під дією повітря можна визначити глибину ферментативних і неферментативних процесів перетворення поліфенолів.

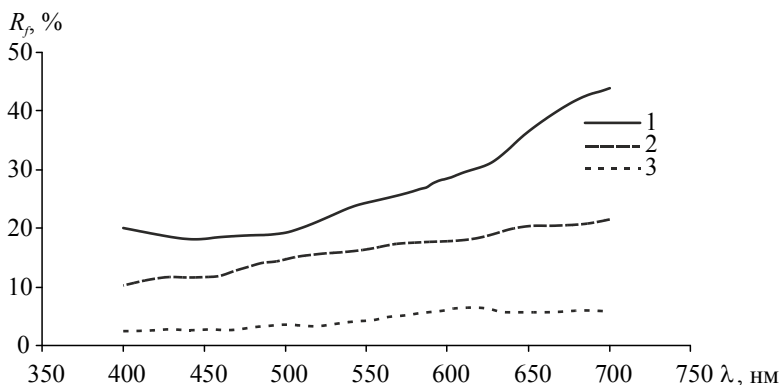


Рис. 2. Спектри відбиття зразків яблук: 1 — контроль; 2 — витримування при температурі  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  протягом 30 хв; 3 — витримування при температурі  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  протягом 20 хв

Досліджено вплив температури на вміст поліфенольних речовин та зміну кольору зразків. Із досліджених фракцій найбільш глибоким перетворенням піддаються катехіни — зменшення вмісту при  $40^\circ \text{C}$  відбувається приблизно у 150 разів, при цьому лейкоантоціанів — у 12 разів, флавонолів — у 1,5 раза. Це пояснюється ферментативним окисленням поліфенольних сполук, що відбувається вже у перші хвилини. При цьому найкращим субстратом для ферментів є катехіни.

Розраховані кольорові характеристики дали змогу встановити, що дія температури на зразки яблук викликає поступовий зсув домінуючої довжини хвилі у червону область спектра порівняно із контрольним зразком з 515,3 нм до 610,4 нм, що характеризує покоричневіння подрібнених яблук (табл. 3).

Таблиця 3. Характеристики кольору дослідних зразків яблук ( $S_r = 0,05$ ,  $n = 5$ ,  $p = 0,95$ )

Умови обробки		$\lambda_{\text{дом}}$ , нм	$T$ , %	$P$ , %	Візуальна оцінка кольору дослідних зразків
$t$ , $^\circ \text{C}$	$\tau$ , хв				
1	2	3	4	5	6
Без обробки (контроль)		515,3	56,6	17,3	Білий з кремовим відтінком
40	20	575,2	47,0	39,8	Світлий жовто-коричневий
	30	582,6	40,1	44,2	Жовтий з коричневим відтінком

1	2	3	4	5	6
80	20	587,5	38,2	47,1	Жовто-коричневий
	30	598,6	33,1	22,8	Коричневий
100	20	603,2	31,3	21,1	Коричневий
	30	610,4	29,7	12,0	Коричневий

Температура 40° С викликає зменшення яскравості ( $T$ , %) до 47,1...40,1% залежно від терміну дії, чистота кольору ( $P$ , %) збільшується за рахунок появи хроматичного кольору — жовтого. Підвищення температури і терміну її дії призводить до поступового зменшення параметра  $P$  до 12,0% за рахунок забарвлення зразків у коричневий (ахроматичний) колір за візуальною оцінкою.

Таким чином, отримані кількісні характеристики суттєво полегшують оцінку кольору дослідних зразків яблук у процесі їх переробки.

Поліфенольний комплекс, що формує колір плодів вишні та сливи, достатньо складний, як свідчать літературні джерела та підтверджено нашими дослідженнями. Але в основному це — антоціани, саме вони надають плодам та продуктам переробки вишні і сливи червоний колір різної інтенсивності.

Проведений аналіз технологій переробки вишні та сливи показав, що основними операціями, що формують якість готових продуктів, є очищення від кісточок, теплова обробка, протирання (для пюре, паст). Тому завдання полягає в тому, щоб вивчити вплив теплової обробки на колір плодів вишні та сливи.

Проведена теплова обробка плодів вишні (без кісточок) при температурі 80° С і 100° С. Вказані температури були обрані з тих міркувань, що вони є переважними при виготовленні продукції з вишні. Термічну обробку проводили протягом 10 хв, 20 хв, 30 хв. Як свідчать отримані дані, вміст антоціанів при температурі 80°С протягом 30 хв зменшився на 40,4%, а у зразках, що витримувалися при 100° С протягом того ж часу, — на 53,2%. Ще більшому руйнуванню піддалися лейкоантоціани і катехіни — вміст у зразках після теплової обробки при 100° С зменшився на 77,3% і 96,2% відповідно (табл. 4).

Довготривала теплова дія (60 хв) повністю руйнує катехіни і лейкоантоціани — вони не визначилися у цих зразках. Також практично повністю руйнуються антоціани. Тому колір зразків змінився на коричневий з червоним відтінком унаслідок накопичення темних продуктів окислення природних барвників.

Таблиця 4. Вміст флавоноїдів у зразках вишні залежно від параметрів обробки ( $S_p = 0,05$ ,  $n = 5$ ,  $p = 0,95$ )

Параметри		Вміст флавоноїдів у зразках вишні, мг%			
Температура, °С	Тривалість, хв	Антоціани	Лейкоантоціани	Катехіни	Флавоноли
Контроль	—	1183,5	437,9	84,6	29,7
80° С	10	1247,1	334,8	67,3	26,0
	20	1043,9	218,5	45,0	24,8
	30	705,4	115,0	20,1	21,1
100° С	10	1091,0	270,5	51,5	25,0
	20	890,5	173,6	17,0	22,7
	30	554,2	99,4	3,2	18,9



Визначені характеристики кольору зразків свідчать, що підвищення температури та збільшення терміну її дії змінюють показники домінуючої довжини хвилі від 630,7 нм для контролю до 695,7 нм для зразка, що оброблявся при 100° С протягом 60 хв. Чистота кольору з часом зменшується від 77,5% для контролю до 58,8% для зразка, що оброблявся при 100° С протягом 10 хв, і до 23,3% для зразка, що оброблявся при 100° С протягом 60 хв. Яскравість зразка порівнянно з контролем після підвищення терміну дії температури зменшилася більше, ніж у 2 рази. Таким чином, отримані кольорові показники характеризують динаміку кольору плодів вишні під час термічної обробки.

Аналогічні результати отримані для плодів сливи: під дією температури у зразках сливи спочатку відбувається активний перебіг процесів окислення антоціанових пігментів, що призводить з часом до накопиченням жовтих проміжних продуктів реакції меланоїдиноутворення, однак після тривалої термічної обробки відбувається накопичення кінцевих продуктів руйнування пігментів сливи коричневого кольору.

Дослідження впливу температури на поліфенольний комплекс плодів сливи дали змогу встановити, що при температурі 20° С вміст флавоноїдів змінюється повільно. В цьому інтервалі температур значну роль відіграють ферментативні процеси, що відбуваються у рослинній тканині при її порушенні. При температурі 60° С спостерігається збільшення вмісту флавоноїдів порівняно із 40° С. За більш високих температур, що є вищими за 60° С, концентрація катехинів і лейкоантоціанів зменшується в середньому в два рази, антоціанів — у 1,3 рази. Це обумовлено перебігом неферментативних процесів, оскільки в цьому діапазоні температур ферменти, що мають протейнову природу, інактивуються, а швидкість хімічних реакцій із зростанням температур різко зростає. При цьому антоціани більш стійкі до дії температур, ніж лейкоантоціани та катехіни.

Розраховані кольорові характеристики показали, що дія температури призводить до зміни домінуючої довжини хвилі протягом 40 хв порівняно з контролем. Незважаючи на той факт, що всі зразки сливи візуально є досить темними, з низькими значення *X*, *Y*, *Z*, їх спектральна яскравість залишається досить високою: 37,8...40,8%, проте після 40 хв обробки яскравість склала всього 15,8%. Із збільшенням тривалості обробки чистота кольору зразків сливи зменшилася з 85,1% до 21,7%.

Таким чином, отримані характеристики добре узгоджуються між собою і характеризують у цілому колір плодів сливи. Візуальна оцінка кольору отриманих зразків також узгоджується з кольоровими характеристиками, які було отримано інструментальним методом.

## **Висновки**

За проведеними експериментальними дослідженнями встановлено якісний і кількісний склад пігментного комплексу, який формує колір яблук, вишні та сливи залежно від сортових і видових особливостей, а також отримано комплекс кольоропараметричних характеристик фруктової сировини.

Встановлено закономірності трансформації речовин пігментного комплексу під дією різних чинників зі зміною кольору рослинної сировини.

Отримані результати показали, що інструментально визначені хроматичні характеристики дають змогу встановити домінуючий тон, а чистота кольору визначає ступінь покоричневіння зразків. Отримані хроматичні характеристики для різних фруктів збігаються з візуальною оцінкою кольору, тому вказаний спектральний метод можливо використати для визначення кольору рослинної сировини з різним пігментним комплексом, а також ступеня його перетворення під дією різних чинників.

### Література

1. *Алешина И.В.* Поведение потребителей / И.В. Алешина. — Москва : Наука, 1999. — 376 с.
2. *Джадд Д.* Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецки. — Москва : Мир, 1978. — 690 с.
3. *Schwartz S.J.* Chlorophylls in foods / S.J. Schwartz // *CRC Food Sci. Nutr.* — 1990. — Vol. 29. — P. 1—17.
4. *Sulaeman A.* Carotenoid content, physicochemical, and sensory qualities of deep-fried carrot chips as affected by dehydration/rehydration, antioxidant, and fermentation / A. Sulaeman, L. Keeler, S. Taylor // *J. Agric. Food Chem.* — 2001. — Vol. 49. — P. 3253—3260.
5. *Delgado-Vargas F.* Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains: Characteristics, biosynthesis, processing, and stability / F. Delgado-Vargas // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* — 2000. — Vol. 40. — P. 173—179.
6. *Hutchings J.* Colour, appearance, expectations and the food industry / J. Hutchings // *Trends in Food Sci. and Technol.* — 2002. — Vol. 11. — P. 340—346.
7. *Harborne J.B.* Advances in Flavonoid Research Since 1992 / J.B. Harborne // *Phytochemistry.* — 2000. — Vol. 55. — P. 481—504.

## INVESTIGATING STRUCTURAL AND BIOCHEMICAL CHANGES WHILE FREEZING AND STORAGE OF FRESHWATER MUSSEL SEMI-PRODUCTS

N. Golovko, T. Golovko, A. Gelikh

*Kharkiv State University of Food Technology and Trade*

---

**Key words:**

*Anodonta freshwater  
bivalve mussels  
Storage lines  
Semi-finished frozen  
cooked product*

**Article history:**

Received 13.09.2017  
Received in revised form  
09.10.2017  
Accepted 18.10.2017

**Corresponding author:**

N. Golovko

**E-mail:**

[npuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-19

---

**ABSTRACT**

The influence of the external factors on the change in protein and moisture content during the storage of semi-finished frozen cooked product made of freshwater mussels has been determined. The investigation of organoleptic properties after freezing and storage of semifinished products was carried out. The dynamics of the microbiological state of semifinished products is described. Based on the data obtained, the optimum storage periods for the semi-finished product made of the *Anodonta* genus have been substantiated and suggested.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ І БІОХІМІЧНИХ ЗМІН ПРИ ЗАМОРОЖУВАННІ ТА ЗБЕРІГАННІ НАПІВФАБРИКАТУ З МОЛЮСКІВ ПРІСНОВОДНИХ

М.П. Головко, Т.М. Головко, А.О. Геліх

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

*У статті визначено вплив зовнішніх чинників під час зберігання напівфабрикату варено-замороженого з молюска прісноводного на зміну вмісту в ньому білка та вологи. Проведено дослідження органолептичних властивостей після заморожування та в процесі зберігання напівфабрикату. Описано динаміку мікробіологічного стану напівфабрикату. На підставі отриманих даних обґрунтовано та запропоновано оптимальні терміни зберігання напівфабрикату з молюсків роду *Anodonta*.*

**Ключові слова:** *прісноводні двостулкові молюски роду *Anodonta*, термін зберігання, напівфабрикат варено-заморожений.*

**Постановка проблеми.** Український ринок морських делікатесів знаходиться в стадії росту, при цьому ринкова кон'юнктура нестійка: безліч марок, виробників, різновидів продукції. Споживча обізнаність та інформування

вкрай низькі. Але попит на морські делікатеси, зокрема на варено-заморожену та консервовану мідію, постійно збільшується.

Покупці продукції з мідії — це організації сфери харчування, такі як кафе і ресторани, та міські жителі у віці 30—50 років, які мають середній і високий рівень достатку. Для них продукт має статус делікатесу. Постійних споживачів продукту з молюска в Україні не так багато, проте обсяги попиту зростають. Таким чином, існує великий ринковий сегмент, вільний від конкуренції, що має значну тільну ємність. Схожа тенденція до споживання спостерігається і в інших країнах, що підтверджуються дослідженнями вчених [1].

Як було доведено в попередніх дослідженнях, м'яке тіло молюсків роду *Anodonta* є повноцінною в харчовому відношенні сировиною з високими структурно-механічними властивостями [2—4].

Ефективні технології зберігання двостулкових прісноводних молюсків дають збільшити обсяги виробництва якісної продукції з гідробіонтів.

Визначені основні цілі, які стоять перед комплексним дослідженням м'якого тіла молюсків півночі України в технології напівфабрикату. Необхідно дослідити оптимальні режими технологічних операцій, при яких максимально збережуться структурно-механічні та органолептичні властивості м'якого тіла. Виконання поставлених цілей надасть можливість підвищити конкурентоспроможність продуктів з гідробіонтів, що є надзвичайно своєчасним і економічно виправданим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зміна сировинної бази і зниження обсягів вилову морських молюсків пов'язана з екологічним становищем [5]. Це викликало необхідність перегляду об'єктів сировинної бази для виготовлення напівфабрикатів і готових кулінарних виробів, а також внесення змін до їх технології виробництва. Серед основних напрямів вирішення вищенаведеної проблеми, виявлених у ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені:

- дослідження молюсків (*mussels Perna perna*) як продукту харчування за показниками фізико-хімічних, харчових і споживчих властивостей [6];

- оцінка гістопатологічного моніторингу мідій *Perna perna* та *Itaipu Lagoon* [7];

- вплив термічної та різних видів попередньої обробки (посол, маринування) на кінцеві характеристики м'яса мідій, а саме: вихід готового продукту та терміни зберігання [8].

Проведено комплексне дослідження м'якого тіла молюсків роду *Anodonta* для підтвердження можливості використання його як харчової сировини. Визначено амінокислотний склад білків [2], жирно-кислотний склад ліпідів [3] і мінеральний склад [4].

При виготовленні кулінарної продукції з напівфабрикатів на основі гідробіонтів спостерігаються фізико-хімічні, структурно-механічні, органолептичні та інші зміни, що впливають на якість готової кулінарної продукції з їх використанням. Під час заморожування та зберігання використовуються оптимальні режими, що і формують характер органолептичних, структурно-механічних та мікробіологічних змін напівфабрикату [9].

Технології напівфабрикатів з молюсків прісноводних у промисловому плані іншими вченими не досліджувались. Це пов'язано в основному з відсутністю промислової технології вирощування та переробки прісноводних гідробіонтів. Саме тому в технології напівфабрикату з прісноводних молюсків роду *Anodonta* мало вивчені закономірності зміни структури м'якого тіла й органолептичних якостей залежно від забезпечення особливих умов зберігання. Додатково до цього м'яке тіло прісноводних молюсків відрізняється від м'якого тіла риб розташуванням міофібрил по спіралі навколо волокна. У зв'язку з цим, встановлення оптимальних термінів зберігання м'якого тіла прісноводних молюсків дає можливість комплексно обґрунтувати технологію напівфабрикату варено-замороженого. Проблемним місцем є невизначеність у питанні вибору оптимальних термінів зберігання, що необхідно для збереження нативних властивостей напівфабрикатів.

**Метою статті** є дослідження динаміки змін вмісту білка та вологи, структурно-механічних, органолептичних та мікробіологічних змін у процесі заморожування і зберігання в технології напівфабрикату варено-замороженого, обґрунтування термінів його зберігання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити динаміку змін вмісту білка, ліпідів, золи та вологи у напівфабрикаті варено-замороженому під час різних проміжків часу в процесі заморожування і зберігання.

2. Дослідити органолептичні та мікробіологічні показники та їх зміну в процесі заморожування та зберігання у напівфабрикаті варено-замороженому.

3. Обґрунтувати на основі отриманих даних терміни зберігання напівфабрикату варено-замороженого з молюска прісноводного.

**Викладення основних результатів дослідження.** Одним із найбільш важливих факторів, які впливають на якість продуктів, є здатність зберігати якісні характеристики під час всього терміну зберігання. Враховуючи, що заморожені напівфабрикати є виробами з тривалим терміном зберігання, необхідно встановити комплекс можливих змін у процесі зберігання, а також дослідження харчової та біологічної цінності.

Для проведення експерименту були виготовлені зразки напівфабрикатів за розробленою технологічною схемою (у попередніх дослідженнях). Живих охолоджених молюсків лушили, виймали м'яке тіло (мантія, мускул-замикач, бісус та статеві залози) піддавали тепловій обробці та заморожували. М'яке тіло молюсків після процесу теплової обробки й остигання заморожували блоками в полімерних плівках при температурі  $-25^{\circ}\text{C}$ . Упаковані в полімерні матеріали дослідні зразки заморожували і зберігали при температурі  $-18^{\circ}\text{C}$  протягом 3—6 місяців.

Дослідження напівфабрикату протягом усього терміну зберігання проводили за такими напрямками:

- вплив зберігання на вміст білків і вологи;
- зміна органолептичних показників;
- мікробіологічний стан.

*Дослідження змін вмісту білка та вологи.* Першим етапом роботи стало визначення динаміки зміни білка та вологи при зберігання напівфабрикату з

моллюска прісноводного за заданої температури. Актуальність цих досліджень пов'язана з тим, що білок є основним поживним компонентом хімічного складу прісноводних моллюсків, які є основою напівфабрикату. Тому максимальне збереження його кількості є основним завданням у технології напівфабрикату, особливо в період зберігання при низьких температурах. Визначення проводилися одразу після заморожування та у період подальшого зберігання, що складало 6 місяців, кожного наступного місяця. Дані наведені в табл. 1.

*Таблиця 1. Зміна білка та вологи напівфабрикату з моллюска прісноводного в процесі зберігання при температурі  $-18^{\circ}\text{C}$ ,  $P \geq 95\%$ ,  $n = 5$*

Термін зберігання місяців	Втрати вологи, %	Співвідношення кількості білка до загальної маси н/ф, %	Показник зниження загальної маси, %	Співвідношення кількості ліпідів до загальної маси н/ф, %	Співвідношення кількості мін.реч. до загальної маси н/ф, %
0	67,4±0,06	6,3±0,11	100	1,15±0,04	2,03±0,04
1	65,87±0,08	6,4±0,14	98,47	1,17±0,11	2,06±0,19
2	64,13±0,11	6,51±0,05	96,73	1,19±0,14	2,10±0,05
3	61,27±0,08	6,69±0,11	93,87	1,22±0,11	2,15±0,13
4	60,40±0,05	6,74±0,05	93,00	1,23±0,07	2,17±0,05
5	59,99±0,08	6,77±0,11	92,59	1,24±0,11	2,18±0,04
6	59,8±0,08	6,78±0,14	92,40	1,24±0,09	2,18±0,11
Δ	-11,275%	+7,6%	-7,6%	+7,9%	+7,2%

Аналізуючи отримані дані, можемо констатувати, що після проведення всіх необхідних технологічних операцій (теплової обробки (варки), остигання та заморожування) перед закладанням на зберігання масова частка вологи в зразках напівфабрикату склала — 67,4%, білка — 6,3%. При зберіганні напівфабрикату повітряним способом і упакованого в поліетиленову плівку відбувалася зміна масової частки вологи, а кількість білка не змінювалася через його денатурацію під час варіння. Через три місяці після зберігання масова частка вологи в напівфабрикаті склала — 61,27%, тобто зменшилася на 9,09% до кінця терміну зберігання. Всього масова частка втрат склала 11,275%. Цей показник є середньостатистичним порівняно з рибними напівфабрикатами та напівфабрикатами з морських моллюсків. Кількісний показник білка після шести місяців спостережень не змінився, але стосовно загальної маси збільшився на 7,6%. Концентрація ліпідів і золи у напівфабрикаті після шести місяців зберігання збільшилась на 7,9% та 7,2% відповідно у показниках ліпідів і мінеральних речовин.

*Дослідження зміни органолептичних показників напівфабрикатів.* Зміна органолептичних показників якості замороженого напівфабрикату досліджували після трьох та шести місяців зберігання і розморожування. Загальну оцінку в балах вираховували як сумарну оцінку за показниками, перемножену на коефіцієнт вагомості кожного окремого показника. Результати наведені у табл. 2.

Оцінюючи вплив зберігання на зовнішній вигляд, колір, смак і аромат, можна зазначити, що показники якості в процесі зберігання незначно відрізняються від початкових зразків навіть після шести місяців зберігання.

**Таблиця 2. Органолептичні показники напівфабрикату з молюска прісноводного в процесі зберігання,  $P \geq 95\%$ ,  $n = 5$**

Органолептичні показники	Терміни зберігання, місяці		
	0	3	6
Зовнішній вигляд	Відповідність формі натурального молюска прісноводного, відповідність забарвлення натуральному	Відповідність формі натурального молюска прісноводного, відповідність забарвлення натуральному	Відповідність формі натурального молюска прісноводного, відповідність забарвлення натуральному
Колір на розрізі	Натуральний, нога — світло-жовтий, прилегла частина — кремовий, рівномірне забарвлення частин	Натуральний, нога — світло-жовтий; прилегла частина — кремовий, рівномірне забарвлення частин	Натуральний, нога — світло-жовтий; прилегла частина — кремовий, рівномірне забарвлення частин
Смак	Натуральний, чистий, відсутність присмаку, чіткий, виразний	Натуральний, чистий, відсутність присмаку, чіткий, виразний	Натуральний, чистий, чіткий, виразний з незначним присмаком
Запах	Чистий, без сторонніх, виразний, відсутність сторонніх запахів	Чистий, без сторонніх, виразний, відсутність сторонніх запахів	Чистий, без сторонніх, виразний, відсутність сторонніх запахів
Соковитість і консистенція	Пружна, еластична, однорідна, ніжна	Пружна, еластична, однорідна, ніжна	Дещо втрачений тургор, еластична, однорідна, ніжна
Загальна оцінка	5,0	4,7	4,5

Після розморожування напівфабрикати мали правильну форму, яка повністю відповідала зовнішньому вигляду напівфабрикату, що пройшов теплову обробку до заморожування. Показники соковитості, смаку та аромату залишилися незмінними протягом усього терміну зберігання.

Органолептична оцінка напівфабрикату варено-замороженого з молюсків роду *Anodonta* показала, що колір м'якого тіла протягом усього терміну зберігання не змінюється. Дегустаційна оцінка напівфабрикату після розморожування і теплової обробки виявила, що протягом усього терміну зберігання вони мають запах і смак, властивий даному виду напівфабрикату з прісноводних молюсків.

*Дослідження мікробіологічних характеристик варено-заморожених напівфабрикатів.* Мікробіологічні показники є визначальними при комплексній оцінці якості та безпечності продуктів харчування, а також при встановленні термінів їх зберігання.

При заморожуванні в температурному інтервалі  $-10$  до  $-12$  °C основна кількість мікроорганізмів, що міститься в напівфабрикатах, відмирає. Окрім низької температури на мікрофлору згубно впливає висока концентрація розчинних речовин і знижений вміст вологи через виморожування води та механічну дію льоду. Відмирання мікрофлори продовжується при зберіганні заморожених напівфабрикатів. Хоча при заморожуванні та зберіганні кількість життєздатних мікробних клітин зменшується, повного відмирання мікроорганізмів у заморожених продуктах не відбувається.

Враховуючи вищесказане, дослідження мікробіологічного стану нових видів варено-заморожених напівфабрикатів має важливе значення.

Дослідження мікробіологічних показників напівфабрикату з прісноводних молюсків у процесі зберігання показало, що бактерії групи кишкових паличок (коліформи), а також умовно-патогенна і патогенна мікрофлора в напівфабрикаті відсутні. Кількість мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФAM) у варено-мороженому напівфабрикаті з молюсків прісноводних у міру зберігання трохи підвищувалася, але за рівнем цього показника після шести місяців зберігання напівфабрикат відповідав санітарно-епідеміологічним і гігієнічним вимогам стандартів для рибної продукції. Концентрація токсичних елементів варено-замороженого напівфабрикату з молюсків роду *Anodonta* 6-місячного терміну зберігання залишалися на тому ж рівні, що і в тканинах живого охолодженого молюска, що наведені в табл. 3.

**Таблиця 3. Зміна мікробіологічних показників напівфабрикату варено-замороженого з молюска прісноводного в процесі зберігання,  $P \geq 95\%$ ,  $n = 5$**

Найменування показників	Допустимі рівні	Термін зберігання, місяців			
		0	1	3	6
Кількість мезофільних аеробних і факультативних анаеробних мікроорганізмів КУО в 1 г, не більше	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$
Бактерії групи кишкової палички (колі форми), в 1 г	Не допускається	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. бактерії роду сальмонела, в 25 г	Не допускається	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано
<i>Staph. Aureus</i> , в 1 г	Не допускається	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано	Не ідентифіковано

Таким чином, на підставі показників безпеки та якості напівфабрикату варено-замороженого з молюсків прісноводних встановлено, що молюски роду *Anodonta* можна заморожувати в обробленому вигляді (м'яке тіло) і зберігати при температурі мінус  $-18^\circ \text{C}$  протягом шести місяців. З огляду на хімічний склад та органолептичні показники можна зробити висновок, що напівфабрикат варено-заморожений на основі молюска прісноводного можна направляти на виробництво різноманітної харчової, в тому числі лікувально-профілактичної, продукції.

### **Висновки**

1. Визначено динаміку змін вмісту білка та вологи у напівфабрикаті варено-замороженому під час різних проміжків часу в процесі заморожування і зберігання та наочно представлено отримані дані за допомогою табличних і графічних методів, а також, що через три місяці після зберігання масова частки вологи в напівфабрикаті зменшилася на 9,09%. Цей показник є середньостатистичним порівняно з рибними напівфабрикатами та напівфабрикатами з морських молюсків. Загалом, кількість вологи протягом всіх шестити місяців



зберігання зменшилася на 11,275%, а кількість білка не змінювалась через його денатурацію під час варки. Кількість білка щодо загальної маси напівфабрикату збільшилась на 7,6%. Концентрація ліпідів і золи у напівфабрикаті після шести місяців зберігання збільшилась на 7,9% та 7,2% відповідно у показниках ліпідів і мінеральних речовин.

2. Досліджено органолептичні та мікробіологічні показники та їх зміну в процесі заморожування та зберігання у напівфабрикаті варено-замороженому. Дегустаційна оцінка напівфабрикату після розморожування і теплової обробки виявила, що протягом усього терміну зберігання вони мають запах і смак, властивий даному виду напівфабрикату з прісноводних молюсків.

3. Обґрунтовано терміни зберігання напівфабрикату варено-замороженого на основі молюска прісноводного. На підставі показників безпеки та якості напівфабрикату варено-замороженого з молюсків прісноводних встановлено, що молюски роду *Anodonta* можна заморожувати в обробленому вигляді (м'яке тіло) і зберігати при температурі мінус  $-18^{\circ}\text{C}$  протягом шести місяців.

### 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 of the 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 of the fatty acid and mineral content 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.* Researching 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/3df4a621844642-b1b243caf6853603ad>.

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. *Tribuzi Giustino* Processing of chopped mussel meat in retort pouch [Text] / Giustino Tribuzi, Gláucia Maria Falcão de Aragão, João Borges Laurindo // Food Science and Technology. 2015; (0):0—0 — Access mode: <https://doaj.org/article/dda612fcc5db4492b8210828bd19a72a>.

9. *Богданов В.Д.* Технохимическая характеристика дальневосточной красноперки и кефали-лобана / В.Д. Богданов, Ф.Б. Волотка // Известия ТИПРО. — 2012. — Т. 170. — С. 271—283.

## RESEARCH OF SURFACE MORPHOLOGY AND TEXTURES OF MINCED MEAT IN BOILED SAUSAGES

V. Pasichnyi, M. Polumbryk, M. Polumbryk

*National University of Food Technologies*

V. Litvyak

*Republican Unitary Enterprise "Foodstuff Research Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus"*

O. Vyshnevskiy

*M. P. Semenenko Institute of Geochemistry and Mineralogy*

---

**Key words:**

*Morphology*

*Texture*

*SEM*

*Minced meat*

*Boiled sausages*

---

**Article history:**

Received 16.09.2017

Received in revised form

04.10.2017

Accepted 24.10.2017

---

**Corresponding author:**

V. Pasichnyi

**E-mail:**

[npuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

---

**ABSTRACT**

Using the method of scanning electron microscopy (SEM), an analysis of the surface morphology of dried samples of meat and minced meat of cooked sausages was performed. The analysis of the microstructures of beef, pork, and broiler samples indicates a significant correlation between the texture of the latter and Bilkozyne due to the reduced fiber density compared to the samples of pork and beef. It was found that the addition of Bilkozyne in hydrated form contributes to the improvement of the minced meat texture, which manifests itself in the complete absence of cavities. It is found, that the average square of holes decreased from 37.5 to 11.5 mm<sup>2</sup>, at the essential decrease of their ellipticity. In comparative tests, broiler meat had high structural similarity with Bilkozyne compared to beef and pork. Thus, broiler meat was used as a main ingredient in the minced meat of the boiled sausages manufacturing. In microphotographs of the samples of minced meat containing Bilkozyne, the polymeric structures of collagen are visible, regardless of the form of introduction. This makes it easy to detect products containing Bilkozyne.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-20

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЇ ПОВЕРХНІ І ТЕКСТУРИ ФАРШУ ВАРЕНИХ КОВБАС

В.М. Пасічний, М.О. Полумбрик, М.М. Полумбрик

*Національний університет харчових технологій*

В.В. Литвяк

*РУП Центр з продовольства НАН Республіки Білорусь*

О. Вишневецький

*Інститут геохімії та мінералогії ім. М.П. Семененка*

*За допомогою методу скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) проведено аналіз морфології поверхні висушених зразків м'яса та фаршу варених ковбас.*

Аналіз мікроструктур зразків м'яса яловичини, свинини та бройлерів вказує на значне споріднення текстури останнього з білкозином, зумовлене зменшеною щільністю волокон, порівняно зі зразками м'яса свинини та яловичини. Саме тому м'ясо бройлерів використовувалось у технології варених ковбас. З'ясовано, що внесення білкозину в гідратованій формі сприяє покращенню текстури фаршу, що проявляється у повній відсутності порожнин. Доведено, що фарш, виготовлений з використанням сухого білкозину має покращену текстуру порівняно із зразком, виготовленим за стандартною рецептурою без білкозину. Це проявляється у зниженні середньої площі порожнин з 37,5 до 11,5 мм<sup>2</sup>, а також у зменшенні їх еліптичності. На мікрофотографіях зразків фаршу, виготовленого з білкозином, видно полімерні структури колагену, незалежно від форми внесення. Це дає змогу легко виявляти продукцію, виготовлену з білкозином.

**Ключові слова:** морфологія, текстура, СЕМ, фарш, варені ковбаси.

**Постановка проблеми.** Гідролізати вторинної м'ясної сировини широко застосовуються в технології м'ясних продуктів [1]. Застосування їх як інгредієнтів у технології варених ковбас дає змогу поліпшити біологічну цінність готових виробів і зменшити витрати м'ясної сировини [2]. Одним із найбільш потенційно корисних таких інгредієнтів є гідролізат яловичої шкури білкозин. Раніше нами було з'ясовано, що використання білкозину в технології варених ковбас надає можливість покращити їх амінокислотний СКОР і поліпшити органолептичні характеристики готових виробів [3; 4]. Кількість білкозину та форма його внесення зумовлюють утворення текстури як фаршу, так і готових виробів, які є важливою складовою в загальній оцінці сенсорних властивостей варених ковбас. Відомо, що форма (гідратована і негідратована) внесення гідроколідів на стадії фаршескладання має суттєвий вплив на якісні характеристики і вихід готової продукції [5]. Таким чином, вивчення текстури фаршу дасть змогу визначити оптимальні кількість і форму внесення білкозину в рецептури ковбасних виробів, що забезпечить підвищення біологічної цінності готової продукції при зменшенні її собівартості.

Для дослідження структуроутворення у фаршах варених ковбасних виробів було використано метод скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Цей метод широко використовується для визначення структури поверхні харчових продуктів загалом [6; 7] і ковбасних виробів зокрема [8].

**Метою дослідження** є аналіз впливу форми і кількості внесеного білкозину на характеристики мікроструктури й текстури фаршу варених ковбасних виробів, який проведено за допомогою методу скануючої електронної мікроскопії.

**Матеріали і методи.** Зразки м'яса та фаршу були попередньо висушені в сушильній шафі при температурі 50° С протягом 8 днів.

Морфологія поверхні зразків досліджена за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM-6700F (JEOL, Японія) в Інституті геохімії, мінералогії і рудоутворення ім. Н.П. Семененка НАН України. Попередньо на по-

верхню зразків для стікання з них електричного заряду наносилось платинове напилення з товщиною плівки 10 нм. Знімання зразків виконувалось за напруги 15 прискорення кВ, струмі зонда 0,65 нА. Висушені зразки м'яса бройлерів і фаршу (0,5 · 0,5 см) товщиною 1 мм були нанесені на сталеву поверхню та вакуумовані перед початком знімання при температурі 20±0,1° С.

Морфологічну структуру зразків м'яса яловичини та свинини оцінювали в Білоруському державному університеті (Республіки Білорусь, м. Мінськ) на растровому електронному мікроскопі LEO 1420 (Carl Zeiss, ФРН). Металізацію зразків здійснювали за допомогою золота у вакуумній установці EMITECH K 550X.

Методом СЕМ визначались такі морфологічні показники: кількість порожнин (КП) на 1000 мм<sup>2</sup> зразку; середня площа порожнин (ПП), мм<sup>2</sup>; еліптичність порожнин (ЕП), представлена як співвідношення  $D_{max}/D_{min}$ ; площа поверхні без порожнин (ПБП) на 1000 мм<sup>2</sup> зразку.

**Результати та їх обговорення.** Внесення білкозину у фарш можна здійснювати як у гідратованій, так і в негідратованій формах. Підвищення ступеня гідратації дає змогу зруйнувати тривимірну спіралеподібну структуру білкозину і більш рівномірно розподілити її в масі фаршу. Це призводить до отримання більш рівномірної текстури фаршу із зниженою кількістю і площею порожнин. Для кількісної оцінки текстури фаршу, виготовленого з негідратованим білкозином (зразок 1), гідратованим білкозином (зразок 2), та фаршу виготовленого за стандартною рецептурою без внесення білкозину (зразок 3) було використано метод СЕМ. Характеристики морфології текстури цих зразків приведені в табл. 1.

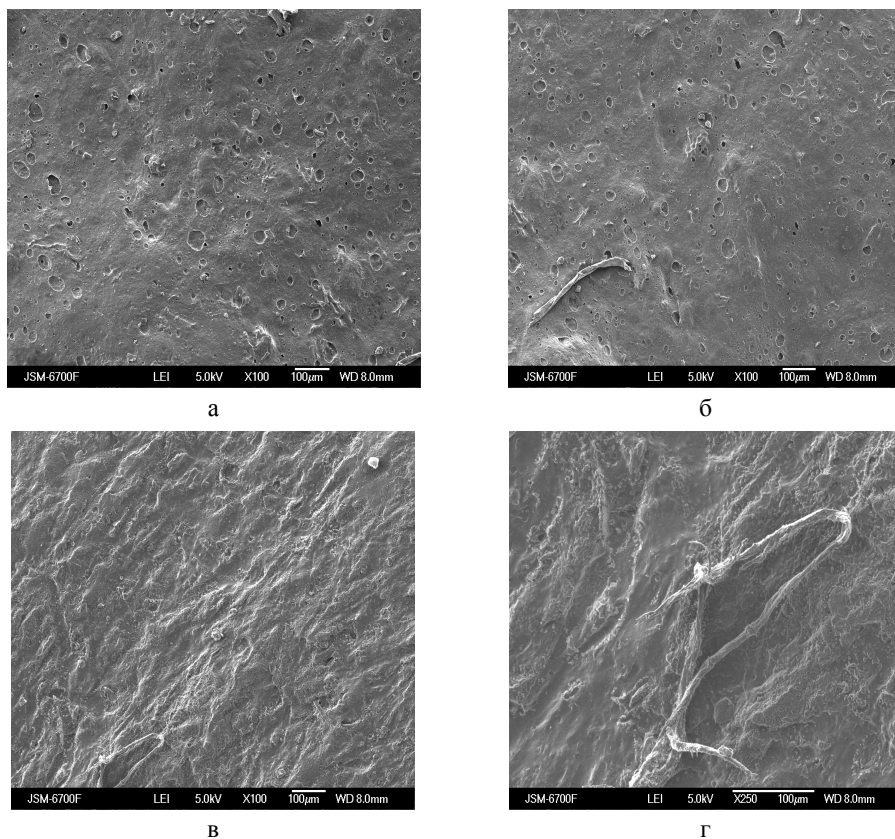
*Таблиця 1. Вплив форми внесення білкозину на характеристики текстури фаршу*

Зразок	КП	ПП	ЕП	ПБП
1	51,2±2,2	11,5±0,9	1,2±0,05	675±23
2	0	0	0	1000
3	20,3±1,4	37,5±1,2	1,96±0,06	840±35

Як видно з табл. 1, внесення білкозину у гідратованій формі призводить до отримання рівної поверхні фаршу, в якій відсутні порожнини більше 0,2 мм<sup>2</sup>. При цьому, внаслідок його використання в негідратованій формі, кількість порожнин суттєво зростає до 51,2 при суттєвому підвищенні площі порожнин. Слід відмітити, що внесення білкозину навіть в негідратованій формі покращує текстуру фаршу порівняно із зразком, виготовленим за стандартною рецептурою. Це проявляється в зниженні середньої площі порожнин з 37,5 до 11,5 мм<sup>2</sup>, а також суттєвого зменшення їх еліптичності. Хоча зразок фаршу, виготовленого за стандартною рецептурою, містить меншу кількість порожнин, і, відповідно, більшу площу поверхні без порожнин. Порівняно із зразком фаршу з гідратованим білкозином, він характеризується нерівномірним розподілом порожнин неправильної форми.

Колаген, який є основою білкозину, зумовлює зміни текстури фаршу. Відомо, що збільшення вмісту колагену в м'ясній сировині зумовлює зниження ніжності і соковитості готових виробів [9]. Це пояснюється зменшенням зшиванням фрагментів колагену між собою та іншими фрагментами сполуч-

них тканин унаслідок зменшення ступеня гідратації. Мікрофотографії зразків фаршу проілюстровані за допомогою рис. 1.



**Рис. 1.** Скануючі електронні фотографії зразків фаршу з гідратованим білкозином (а\*) та (б\*); негідратованим білкозином (в\*, г\*\*), \* 100 кратне збільшення зображення; \*\* 250 кратне збільшення зображення

Як видно з рис. 1, у зразку фаршу, виготовленого з негідратованим білкозином на поверхні відсутні порожнини (рис. 1в). При цьому візуально спостерігаються фрагменти колагену на поверхні зразку з гідратованим (1б) і негідратованим (1г) білкозином. Останній являю собою частково модифікований за рахунок лужного гідролізу колагеновий білок [3]. На нашу думку, на стадії фаршескладання, пептиди білкозину зазнають гідратації, зумовлюючи пом'якшення текстури готових виробів. При цьому негідролізовані фрагменти колагену залишаються незмінними і фактично не впливають на формування текстури фаршу.

Зважаючи на значний вплив колагенового білка на загальну консистенцію м'яса, а також виробів з нього, важливим етапом досліджень є визначення видів м'ясної сировини, яка найбільш морфологічно споріднена з білкозином. Для цього було використано метод електронної мікроскопії, який з успіхом застосовується для дослідження структури поверхні біологічних об'єктів. Як

об'єкти досліджень були обрані зразки м'яса свинини, яловичини м'ясних порід і м'яса бройлерів. Зразки були попередньо висушені.

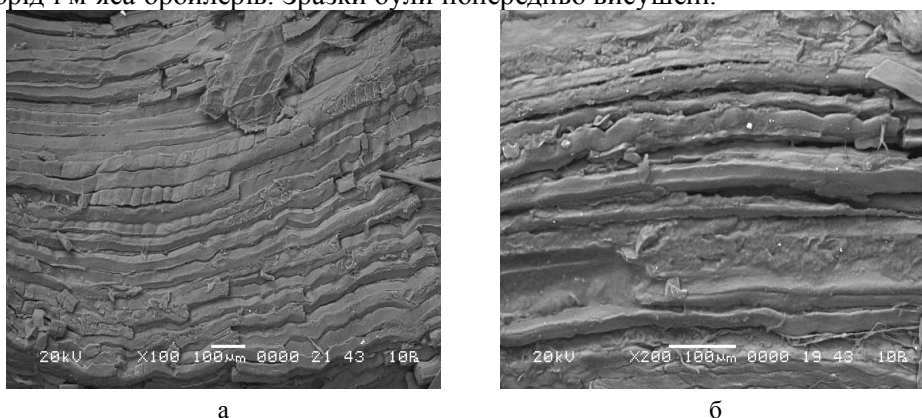


Рис. 2. Скануючі електронні фотографії зразків м'яса яловичини (а) та свинини (б)

Як видно з рис. 2, зразки сухої яловичини та свинини характеризуються високою щільністю поверхні, що пояснюється значним вмістом фракцій сполучних білків у м'язовій тканині яловичини й свинини [9]. Також нами було проведений аналіз морфології поверхні зразків м'яса курчат-бройлерів і білкозину (рис. 3).

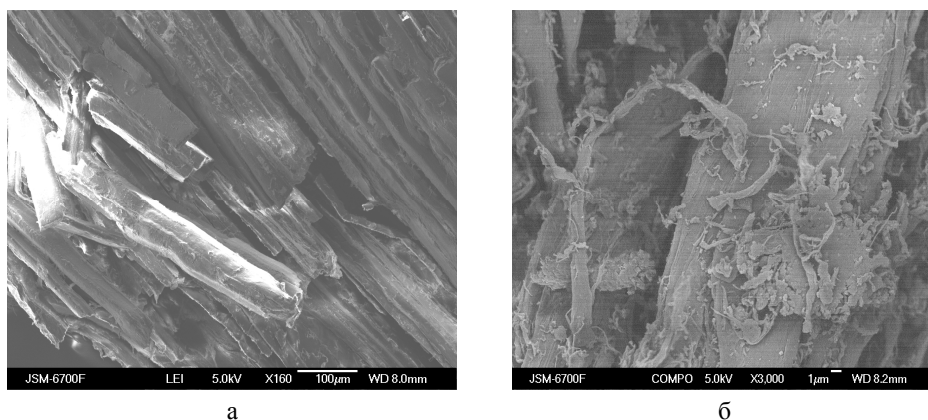


Рис. 3. Скануючі електронні фотографії зразків м'яса бройлерів (а) і білкозину (б)

Як видно з рис. 2, 3, саме м'ясо курчат-бройлерів вирізняється найменш щільною морфологією поверхні серед усіх досліджених зразків основної сировини. Відомо, що колаген м'язової тканини містить термостабільні і термолабільні фрагменти, кількість яких залежить від типу м'яса й віку тварини. Термолабільні з'єднання більш превалюють у м'язовій тканині молодих тварин, тоді як термостабільні — у більш старих. Одразу після забою відбувається зшивання волокон колагену, що призводить до підвищення щільності м'яса і зменшення його еластичності. Саме цим пояснюється відомий факт зменшення соковитості м'яса при підвищенні частки колагену в

ньому [10]. Слід зазначити, що консистенція м'яса і готових виробів з нього визначає перетравлюваність готових виробів. Чим вища щільність м'яса, тим менша доступність білків м'яса до ферментації, що призводить до зниження біологічної цінності. Таким чином, виникає необхідність певної модифікації колагенового структуроутворювача, яка б унеможливила зшивання.

Цілий ряд технологічних операцій застосовується для зменшення твердості м'язових волокон, насамперед використання високовартісних ферментативних препаратів. При дослідженні було застосовано спосіб, що ґрунтується на якісному підборі сировини, в яку відбувалося внесення структуроутворювача білкозин, підвищуючи соковитість і ніжність готових виробів з його використанням. Як видно з рис. 2, 3, саме м'ясо курчат-бройлерів, а не яловичини є найбільш структурно подібним до білкозину.

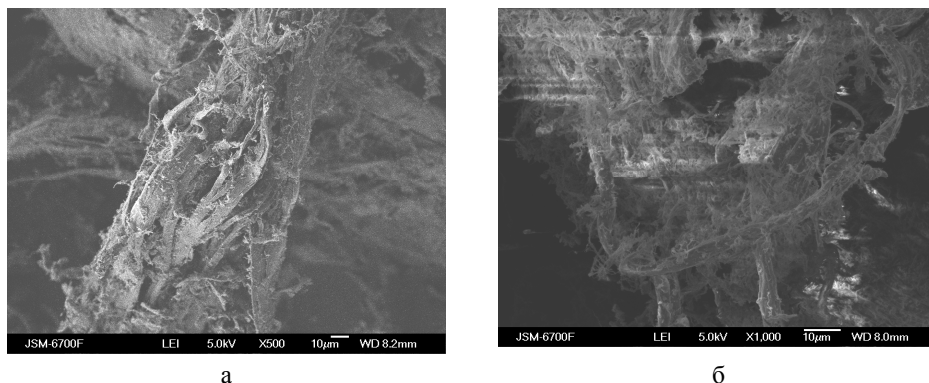


Рис. 4. Скануючі електронні фотографії зразків білкозину, а — 500-кратне збільшення; б — 1000-кратне збільшення зображення

Білкозин являє собою гідролізовану в кислому середовищі яловичу шкіру. У структурі білкозину добре видно тривимірні спіралі, характерні для колагену (рис. 1, 3, 4). Відсутність щільного упакування (рис. 4б) вказує на незначну частку міжмолекулярного зшивання між колагеновими спіралями. Таким чином, слід очікувати, що внесення білкозину до складу рецептур продуктів, які виготовляються з м'яса курчат-бройлерів, призведе до покращення як органолептичних показників готових виробів, так і перетравлюваності, а отже, сприятиме підвищенню біологічної цінності ковбасних виробів.

### Висновок

Методом сканувальної електронної мікроскопії проведено кількісне оцінювання показників структури фаршів з різних видів м'ясної сировини, що в подальшому дає змогу ідентифікувати наявність в їхньому складі тваринного білка білкозин. Показано, що внесення білкозину в гідратованій формі сприяє утворенню більш рівномірної структури фаршу порівняно з внесенням даного білка в негідратованій формі.

Доведено, що незалежно від форм внесення можливо провести чітку ідентифікацію наявності полімерної структури колагену з використанням методу

СЕМ, що надає можливість виявити можливу фальсифікацію м'ясопродуктів за наявністю в їхньому складі сполучнотканинного білка колагену.

### Література

1. Galvao A., Pereira T., Mendes E. Effects of the addition of mechanically deboned poultry meat and collagen fibers on quality characteristics of frankfurter-type sausages // *Meat Sci.* — 2011. — Vol. 89, # 4, — P. 519—525.
2. G.A. Prabhu, D.R. Doerschler, D.H. Hull Utilization of Pork Collagen Protein in Emulsified and Whole Muscle Meat Products / *J. Food Sci.* — 2004. Vol. 69, # 5, — P. 388—392.
3. Ukrainets A. Effect of collagen based protein isolate Bilkozyne on biological value of boiled sausages / A. Ukrainets, V. Pasichniy, M. Polumbryk, M. Polumbryk // *Ukrainian Food Journal.* — Київ : NUFT, 2016. — V. 5. Issue 4. — P. 724—732.
4. Пасічний В.М. Білкозин — альтернативний інгредієнт в композиційних сумішах / В.М. Пасічний, М.М. Полумбрик, М.О. Полумбрик // *Науковий журнал «Харчова промисловість».* — Київ, НУХТ, 2016. — № 19. — С. 36—40.
5. Shao J., Deng Y., Song Y. et.al. Investigation the effects of protein hydration states on the mobility water and fat in meat batters by LF-NMR technique // *Food Sci. Technol.* — 2015. — Vol. 65, # 3. — P. 137—144.
6. Sheen S., Bao G., Cooke P. Food surface texture measurement using reflective confocal laser scanning microscopy // *J.Food Sci* — 2009. — Vol. 73, # 5. — P. e227—e234.
7. Природные антиоксиданты пищевых продуктов / М.О. Полумбрик, З.В. Ловкис, В.В. Литвяк, Л.В. Баль-Прилипка. — Минск: ИВЦ Минфина, 2017. — 158 с.
8. Caballo J., Fernandez P., Barreto G. et.al. Morphology and texture bologna sausage as related to content of fat, starch and egg white // *J. Food Sci.* — 1996. — Vol 61, # 3. — P. 652—655.
9. Encyclopedia of food sciences and nutrition. 2th edition (edited by B. Caballero, P. Finglas, L. Trugo et.al.). 2003. Oxford.: Academic Press. — 6000 p.
10. Українець А.І. Вплив білоквісних композицій на основі колагену на якість ковбасних виробів / А.І. Українець, В.М. Пасічний, Ю.В. Желуденко, М.М. Полумбрик // *Науково-виробничий журнал «Харчова наука і технологія».* — Одеса, 2016. — Том 10, випуск 3. — С. 50—55.



## **INFLUENCE OF THE HYDROLYSIS PARAMETERS OF PROTOPECTINE OF GRANULATED APPLE POMACE ON THE OUTPUT AND INDEXES OF QUALITY OF THE RECEIVED PECTIN**

Z. Vasilenko, V. Nikulin, L. Lazovikova

*Mogilev State University of Food, Mogilev, Republic of Belarus*

---

**Key words:**

*Hydrolysis  
Protopectin  
Pectin  
Apple pomace  
Jelly  
Molecular weight*

**Article history:**

Received 10.09.2017  
Received in revised form  
04.10.2017  
Accepted 26.10.2017

**Corresponding author:**

Z. Vasilenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

As a result of the processing of the experimental data, the dependences showing the effect of the main parameters of hydrolysis of protopectin on apple fries on the output and the quality indicators of the obtained pectin as well as regression equations linking the output of pectin, its molecular weight and the strength of jellies with the basic parameters of protopectin hydrolysis, are obtained in the article. These equations make it possible to calculate the basic indexes of pectin with an error of 5—7% in the investigated range of the process parameters. It has been proved that the increase of temperature and duration of thermal action as well as the decrease in the pH value (in the range of parameters under study) boost the degradation of pectin molecules and reduce the molecular weight of pectin and the strength of the jelly. The low temperature and insufficient acidity of the process lead to incomplete hydrolysis of protopectin.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-21

---

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА ПРОТОПЕКТИНА ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВЫЖИМОК ЯБЛОК НА ВЫХОД И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ПЕКТИНА**

З.В. Василенко, В.И. Никулин, Л.В. Лазовикова

*Могилевский государственный университет продовольствия, Могилев, Республика Беларусь*

*В результате обработки экспериментальных данных в статье получены зависимости, показывающие влияние основных параметров гидролиза протопектина выжимок яблок на выход и показатели качества получаемого пектина, а также уравнения регрессии, связывающие выход пектина, его молекулярную массу и прочность студней с основными параметрами процесса гидролиза протопектина. Данные уравнения позволяют рассчитать основные показатели пектина с погрешностью 5—7% в исследуемом диапа-*

зоне изменения параметров процесса. Доказано, что повышение температуры, увеличение продолжительности теплового воздействия и понижение значения рН (в исследуемом диапазоне изменения параметров) усиливают деградацию молекул пектина и снижают молекулярную массу пектина и прочность его студней, а низкая температура и недостаточная кислотность процесса приводит к неполному гидролизу протопектина.

**Ключевые слова:** гидролиз, протопектин, пектин, выжимки яблок, студень, молекулярная масса.

**Постановка проблемы.** В последние годы приобретают актуальность разработка и внедрение в производство функциональных пищевых продуктов, которые содержат ингредиенты, повышающие сопротивляемость организма человека к заболеваниям, способные регулировать физиологические процессы в организме человека. Наличие в пектиновых веществах свободных карбоксильных групп галактуроновой кислоты обуславливает их свойство связывать в желудочно-кишечном тракте ионы тяжёлых металлов и радионуклиды, которые не всасываются, а выводятся из организма. Кроме того, пектин способен сорбировать и выводить из организма болезнетворные микроорганизмы и выделяемые ими токсины, биогенные токсины, ксенобиотики, продукты метаболизма, а также биологически вредные вещества, способные накапливаться в организме в течение жизни: холестерин, желчные кислоты, мочевины и другие.

На этих свойствах пектина основано его широкое применение в диетическом и функциональном питании. В пищевой промышленности пектины, являясь универсальными, натуральными желирующими и стабилизирующими средствами, преимущественно используются для придания определенным видам продуктов необходимых реологических свойств [1].

Основными процессами технологии получения пектина, в значительной мере определяющими эффективность производства и качество готового продукта, являются гидролиз протопектина и экстракция пектиновых веществ. Имеющиеся в литературе данные, посвященные этому вопросу, весьма многочисленны и противоречивы, к тому же методы гидролиза и экстракции не всегда точно описаны. В связи с этим важное научное и практическое значение имеют исследования в области разработки и поиска наиболее оптимальных условий получения столь ценного полисахарида, обладающего целым рядом уникальных функциональных свойств, определяющих область его применения.

**Цель статьи:** исследование влияния параметров гидролиза протопектина на выход пектина и показатели его качества, прочность его студней и молекулярную массу.

**Материалы и методы.** Объектом исследования служили сушеные гранулированные выжимки яблок. Сушка выжимок в виброкипящем слое на лабораторной установке периодического действия осуществлялась при следующих режимных параметрах: первоначальная удельная нагрузка продукта на газораспределительную решетку — 28,4 кг/м<sup>2</sup>; температура воздуха 90—100° С;

диаметр отверстий матрицы в шнековом грануляторе — 4 мм; начальная скорость воздуха 3 м/с.

Содержание пектиновых веществ, определенное карбазольным методом [2] с предварительным их фракционированием, составляло 25,30% (на абсолютно сухое вещество), в том числе растворимого пектина — 2,30%; пектина, растворимого в шавелевокислом аммонии — 2,53%; протопектина — 20,47%.

При выборе параметров, влияющих на процесс гидролиза протопектина сушеных гранулированных выжимок яблок, исходили из имеющихся в литературе данных [3] и опыта собственных исследований.

Эксперименты осуществлялись в соответствии с планом исследования трех факторов на четырех уровнях, построенном на основе гипер-греко-латинского квадрата  $4 \cdot 4$  3-го порядка. [4]

В качестве независимых управляемых переменных приняты: величина рН гидролиза, его температура  $t$ , а также продолжительность процесса  $\tau$ .

Каждый параметр варьировался на четырех уровнях:

- величина рН гидролиза — 2,4; 2,8; 3,2; 3,5;
- температура гидролиза,  $t$  — 68° С; 74° С; 81° С; 89° С;
- продолжительность гидролиза,  $\tau$  — 1 ч.; 1,5 ч.; 2 ч.; 3 ч.

В качестве выходных параметров процесса гидролиза протопектина были выбраны выход пектина, его молекулярная масса и прочность студней.

Для проведения исследований в реактор заливали раствор лимонной кислоты с заданным значением рН, нагревали его до требуемой температуры, загружали сушеные гранулированные выжимки яблок, при этом гидромодуль составлял 1:12, и проводили гидролиз протопектина в течение заданного времени. Затем отделяли гидролизат от выжимок прессованием, охлаждали его до комнатной температуры и осаждали пектин из раствора 96-процентным этиловым спиртом. Осажденный пектин отжимали через ткань. Полученный коагулят промывали спиртом и высушивали в сушильном шкафу при температуре  $(60 \pm 2)$  °С.

Молекулярную массу пектина определяли вискозиметрическим методом [2].

Прочность студней пектина определяли на приборе для определения прочности пектинового студня по ГОСТ 29186-91 [5] и МВИ МГ 094-2006 [6].

План экспериментального исследования с соответствующим диапазоном изменения управляемых переменных приведен в табл. 1.

*Таблица 1. План экспериментального исследования гидролиза протопектина сушеных гранулированных выжимок яблок*

№ опыта	Значение рН гидролиза	Температура реакционной смеси	Продолжительность процесса
	рН	$t$ , °С	$\tau$ , ч
1	2	3	4
1	2,4	68±2	1
2	2,8	74±2	2
3	3,2	81±2	3
4	3,5	89±2	1,5
5	3,5	74±2	3
6	3,2	68±2	1,5

1	2	3	4
7	2,8	89±2	1
8	2,4	81±2	2
9	2,8	81±2	1,5
10	2,4	89±2	3
11	3,5	68±2	2
12	3,2	74±2	1
13	3,2	89±2	2
14	3,5	81±2	1
15	2,4	74±2	1,5
16	2,8	68±2	3

Искомую зависимость выходных параметров от принятых независимых переменных представили в виде произведения функции от отдельных аргументов:

$$X = A \cdot f(t) \cdot f(\text{pH}) \cdot f(\tau). \quad (1)$$

Подобное представление с успехом применяется во многих технических исследованиях, являясь одним из наиболее важных и общих соотношений.

Без знания постоянной  $A$ , входящей в формулу (1), которая определяется в результате обработки экспериментальных данных, эти графические зависимости нельзя использовать непосредственно для определения, например, выхода при данных значениях рН,  $t$  и  $\tau$ , поскольку они представляют усредненные, а не дискретные значения. Следует отметить, что при построении каждой зависимости использовались результаты всех 16 экспериментов, а каждая точка зависимости построена по результатам четырех опытов.

**Результаты и обсуждения.** Результаты экспериментального исследования в соответствии с приведенным в табл. 1 планом представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты экспериментального исследования гидролиза протопектина сушеных гранулированных выжимок яблок

№ опыта	Выход пектина, %	Прочность студней пектина, °ТБ	Молекулярная масса пектина, Да
1	4,89±0,05	201±5	34 602±69
2	7,80±0,08	256±6	37 631±75
3	10,93±0,11	268±7	36 711±73
4	10,93±0,11	261±6	35 311±71
5	6,39±0,06	316±8	40 398±81
6	4,20±0,04	265±6	34 535±69
7	13,79±0,14	204±5	28 786±58
8	13,70±0,14	202±5	29 971±60
9	11,61±0,12	219±5	32 138±64
10	18,64±0,19	205±5	24 417±49
11	4,19±0,04	317±8	38 509±77
12	4,93±0,05	264±6	42 717±85
13	13,43±0,14	228±6	31 514±63
14	6,37±0,06	296±7	35 393±71
15	8,89±0,09	197±5	34 670±69
16	6,84±0,07	277±7	37 734±75

Для того, чтобы представить выход пектина в зависимости от температуры процесса  $t$ , в чистом виде были найдены логарифмы от средних значений выхода пектина для каждого из четырех уровней варьирования управляемых факторов [7].

Например, наименьшее значение заданной температуры процесса (первый уровень) устанавливалось для 1, 6, 11 и 16 опытов. По полученным экспериментальным значениям выхода пектина для этих опытов вычисляли средний логарифм выхода пектина и потенцировали результат. Второй уровень температуры процесса реализуется в опытах 2, 5, 12 и 15. Аналогично, с помощью потенцирования среднего логарифма от выхода пектина в этих опытах получили выход пектина, соответствующий второму уровню варьирования  $t$  и т. д. Таким же образом получали зависимости выхода пектина от рН,  $\tau$ .

Зависимости выхода пектина от режимных параметров процесса гидролиза протопектина из сушеных гранулированных выжимок яблок представлены на рис. 1.

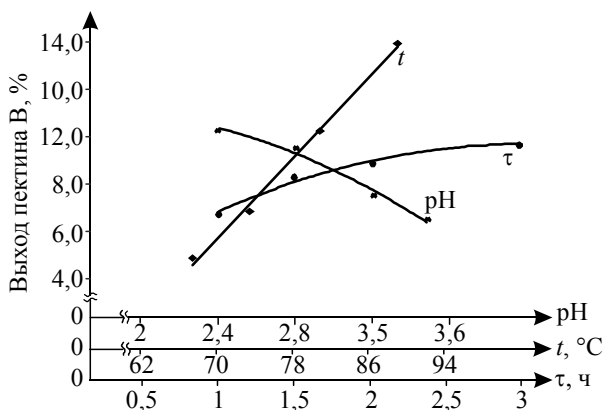


Рис. 1. Зависимость выхода пектина от независимых управляемых параметров процесса гидролиза протопектина гранулированных выжимок яблок

Анализ полученных данных показывает, что выход пектина изменяется в широком диапазоне — от 4 до 18%. При этом наиболее сильное влияние на выход пектина оказывает температура процесса. При увеличении температуры процесса с  $(68 \pm 2)$  °C до  $(89 \pm 2)$  °C выход пектина увеличивается с 5 до 14% соответственно.

Зависимость выхода пектина от значения рН среды носит полиномиальный характер (полином второй степени). При этом максимальный выход (10,3%) наблюдается при значении рН 2,4. При изменении значения рН среды с 2,4 до 3,5 выход пектина снижается до 6,6%.

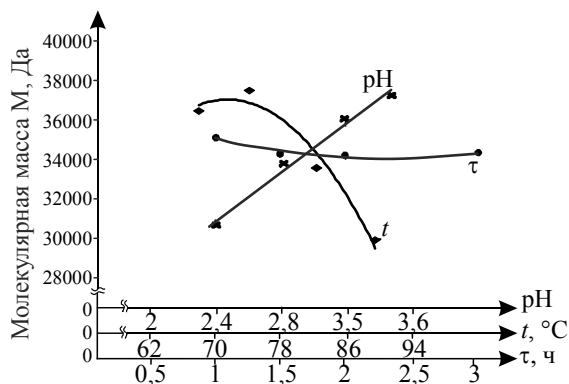
Влияние продолжительности процесса на выход пектина также носит полиномиальный характер (полином второй степени). При этом минимальное значение выхода пектина (6,8%) наблюдается при продолжительности процесса 1 ч. При увеличении продолжительности процесса с 1 до 3 ч выход пектина увеличивается до 9,7%.

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическое уравнение, устанавливающее зависимость выхода пектина (В) от независимых управляемых параметров процесса ( $t$ , pH,  $\tau$ ):

$$B(t, \text{pH}, \tau) = 1,41 \cdot 10^{-2} (0,44t - 25,11) \cdot (-1,34 \text{pH}^2 + 4,30 \text{pH} + 7,77) \times (-0,69\tau^2 + 4,17\tau + 3,38) \quad (2)$$

Для того, чтобы представить молекулярную массу пектина в зависимости от величины pH гидролиза, его температуры  $t$ , а также продолжительности процесса  $\tau$ , в чистом виде были найдены логарифмы от средних значений выхода пектина для каждого из четырех уровней варьирования управляемых факторов.

На рис. 2 представлены зависимости молекулярной массы пектина от независимых управляемых переменных.



**Рис. 2. Зависимость молекулярной массы пектина от независимых управляемых параметров процесса гидролиза протопектина гранулированных выжимок яблок**

Анализируя данные, следует отметить, что молекулярная масса полученных образцов пектина изменяется в диапазоне от 24 000 до 42 000 Да. При этом наиболее сильное влияние на молекулярную массу оказывают значения pH среды и температура. С изменением значения pH среды с 2,4 до 3,5 молекулярная масса увеличивается с 30000 до 38000 Да соответственно.

Зависимость молекулярной массы от температуры процесса носит полиномиальный характер (полином второй степени). При этом максимальное значение молекулярной массы пектина 38000 Да наблюдается при температуре 74° С.

Анализ зависимости молекулярной массы от температуры свидетельствует о том, что при увеличении температуры от (68±2) °С до (74±2) °С молекулярная масса незначительно увеличивается. При дальнейшем увеличении температуры молекулярная масса снижается и достигает своего минимума при температуре (89±2) °С.

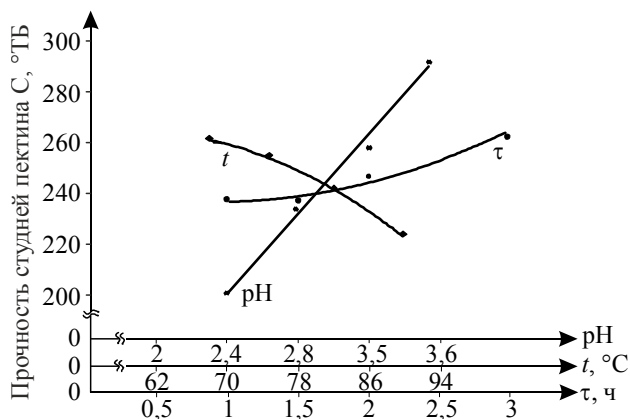
В меньшей степени на молекулярную массу влияет продолжительность процесса  $\tau$ . Так, при увеличении  $\tau$  от 1 до 3 ч молекулярная масса колеблется в пределах 34000—35000 Да.

Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение регрессии, связывающее молекулярную массу с основными параметрами процесса:

$$M(t, \text{pH}, \tau) = 8,54 \cdot 10^{-10} \left( -25,61t^2 + 3658,3t - 93392 \right) \times \\ \times \left( 19408 \text{pH}^{0,53} \right) \cdot \left( 542,4\tau^2 - 2535\tau + 36943 \right) \quad (3)$$

Чтобы представить прочность студней пектина в зависимости от величины рН гидролиза, его температуры  $t$ , а также продолжительности процесса  $\tau$ , в чистом виде были найдены логарифмы от средних значений прочности студней пектина для каждого из четырех уровней варьирования управляемых факторов.

Прочность студней — один из основных показателей качества получаемого пектина. Зависимости прочности студней пектина от режимных параметров процесса гидролиза протопектина гранулированных выжимок яблок представлены на рис. 3.



**Рис. 3. Зависимость прочности студней пектина от независимых управляемых параметров процесса гидролиза протопектина гранулированных выжимок яблок**

Как видно из данных, представленных на рис. 3 и в табл. 2, прочность студней полученного пектина изменяется в широких пределах: от 197 до 317 °ТБ. Самое сильное влияние на прочность студней оказывают значения рН среды. При изменении значения рН от 2,4 до 3,5 величина прочности студней пектина резко повышается до 300 °ТБ. Зависимость прочности студней пектина от температуры процесса носит полиномиальный характер (полином второй степени). С увеличением температуры процесса с  $(68 \pm 2)$  °С до  $(89 \pm 2)$  °С прочность студней снижается от 262 до 223 °ТБ. Рассматривая влияние продолжительности процесса, необходимо отметить, что при увеличении продолжительности от 1 до 3 ч прочность студней получаемого пектина изменяется незначительно: от 238 до 263 °ТБ.

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическое уравнение:

$$C(t, \text{pH}, \tau) = 1,67 \cdot 10^{-5} (6,29t^2 - 11,28t + 241,16) \times \\ \times (81,49\text{pH} + 5,28) \cdot (-0,05\tau^2 + 6,04\tau + 81,88) \quad (5)$$

Полученные уравнения (2)—(5) позволяют рассчитать основные показатели пектина с погрешностью 5—7% в исследуемом диапазоне изменения параметров процесса:

- величина рН гидролиза — 2,4; 2,8; 3,2; 3,5;
- температура гидролиза,  $t$  — 68° С; 74° С; 81° С; 89° С;
- продолжительность гидролиза,  $\tau$  — 1 ч.; 1,5 ч.; 2 ч.; 3 ч.

### Выводы

Подводя итог, следует отметить, что варьирование параметров гидролиза сушеных гранулированных выжимок яблок (значения рН 2,4—3,5; температура 68—89° С; продолжительность 1—3 ч.) существенно влияет на выход пектина, его молекулярную массу и прочность студней. Установлено, что повышение температуры, увеличение продолжительности теплового воздействия и понижение значения рН до определенных пределов усиливают деградацию молекул пектина и снижают молекулярную массу пектина и прочность его студней, а низкая температура и недостаточная кислотность процесса приводит к неполному гидролизу протопектина сушеных гранулированных выжимок яблок.

### Литература

- 1 Юдина С.Б. Технология продуктов функционального питания / С.Б. Юдина. — Москва : ДеЛи принт, 2008. — 280 с.
- 2 Арасимович В.В. Методы анализа пектиновых веществ, гемицеллюлоз и пектолитических ферментов в плодах / В.В. Арасимович. — Кишнев : РИО АН МССР, 1970. — 84 с.
- 3 Донченко Л.В. Технология пектина и пектинопродуктов / Л.В. Донченко. — Москва : ДеЛи, 2006. — 276 с.
- 4 Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев // Пищевая промышленность, 1978 — 197 с.
- 5 Пектин. Технические условия: ГОСТ 29186-91. — Введен с 01.01.1993. — Москва : Издательство стандартов, 1992. — 21 с. Переиздание (июнь 2011 г.) с поправками (ИУС № 2—93, ИУС РБ № 5—99).
- 6 Определение студнеобразующей способности пектина с помощью прибора для определения прочности пектиновых студней: МВИ МГ 094-2006 / З.В. Василенко, В.А. Седакова. — Утверждена ректором УО МГУП. — Могилев, 2005. — 8 с.
- 7 Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. — Москва : Мир, 1972. — 151 с.



## QUALITY OF MINCED MEAT PRODUCTS AND ITS CHANGE IN THE PROCESS OF GRINDING

Y. Sukhenko, V. Sukhenko, M. Mushtruk, V. Vasuliv, Y. Boyko  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

---

**Key words:**

*Cutting  
Minced meat  
Rheological parameters  
of minced meat  
Muscle structure  
Yield of sausages  
Quality*

---

**ABSTRACT**

The article defines the influence of methods and modes of grinding minced meat to ensure a high yield and quality of sausage products. It is shown that the multiplicity of shredding of raw material components determines rheological, structural-mechanical and qualitative indices. The method of cutting affects the state of muscle, fat, connective tissue, solubility of the protein fraction, and is a decisive factor in the creation of devices for controlling the stuffing preparation.

---

**Article history:**

Received 10.09.2017  
Received in revised form  
24.09.2017  
Accepted 15.10.2017

---

**Corresponding author:**

Y. Sukhenko

**E-mail:**

[npuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-22

---

## КАЧЕСТВО ФАРШЕЙ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко, М.М. Муштрук, В.П. Васылив, Ю.И. Бойко  
*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

*В статье определено влияние способов и режимов измельчения мясных фаршей для обеспечения высокого выхода и качества колбасных изделий. Показано, что кратность измельчения составляющих сырья определяет реологические, структурно-механические и качественные показатели. Способ резания влияет на состояние мышечных, жировых, соединительных тканей, растворимость белковой фракции и является решающим фактором при создании приборов для контроля фаршеприготовления.*

**Ключевые слова:** *резание, мясной фарш, реологические показатели фарша, структура мышцы, выход колбасных изделий, качество.*

**Постановка проблемы.** Под измельчением понимают процесс разделения мясного сырья на части под механическим действием резальных инстру-

ментов с образованием новых поверхностей. Резание сопровождается пластическим деформированием, трением между контактирующими поверхностями мяса и режательных инструментов и повышением их температуры.

В результате проведенного размерного анализа мясного сырья до и после измельчения на разных пищевых измельчительных машинах [1; 2] предложена классификация измельчения (табл. 1).

*Таблица 1. Классификация измельчения по размерам [1]*

Вид измельчения	Средний размер куска (частицы), мм	
	до измельчения	после измельчения
Крупное	до 300	до 100
Среднее	до 200	60...10
Мелкое	200...100	10...2
Тонкое	10...2	2...0,4
Коллоидное	10...0,4	0,075...0,001

Многочисленными исследованиями доказано, что качество и выход готовых колбасных изделий в значительной степени зависят от СМХ и реологических свойств (РС) фарша и соблюдения рецептур [2; 3].

Исследована физико-химическая механика тонкого измельчения мяса и зависимость структурно-механических характеристик (СМХ) фарша и его реологических свойств (РС) от состава сырья и режимов измельчения на куттерах.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Тонкое измельчение обеспечивает образование таких частичек фарша, поверхность которых связывает максимальное количество влаги, образуя однородную гомогенную массу с определенными СМХ и РС [3; 4]. Качество фарша зависит от вида измельчительной машины — куттера, куттера-мешалки, коллоидной мельницы, эмульсатора, агрегата непрерывного действия и тому подобное. Во всех этих машинах процессы измельчения подобны [1]. Вместе с тем рациональная длительность измельчения, при которой физико-химические свойства и технологические характеристики продукта имеют экстремально необходимые значения, разная и зависит от кинематических характеристик машин и конструкций режательных инструментов [2].

Резание в процессах тонкого измельчения мясного сырья выполняют на высоких скоростях. Трение режальных инструментов сопровождается выделением большого количества тепла, которое и может привести к денатурации белков, изменению водосвязывающей способности и СМХ фарша [5]. Эти обстоятельства обуславливают необходимость разработки методики определения оптимальной продолжительности измельчения с учетом характеристик режательных органов машин [2; 6; 10].

В подавляющем большинстве измельчительных машин отсутствуют приборы и устройства, контролирующие РС и СМХ фаршей, которые определяют окончание процесса [1; 7]. На подавляющем большинстве предприятий, перерабатывающих мясо, эти операции выполняют технологи, а качество готовых изделий зависит от их квалификации [1; 9]. Поэтому существует необходимость создания автоматических приборов для определения готов-

ности фаршей. Для этого необходимо определить объективные критерии окончания процесса измельчения, учитывающие СМХ и РС дисперсной системы, которые могут быть взяты за основу при проектировании контролирующих приборов и устройств [8; 12].

**Целью исследования** является усовершенствование методики определения оптимальных режимов измельчения фаршей для получения дисперсных систем с мясного сырья с заданными СМХ и РС на разном оборудовании для последующего использования ее в разработке приборов и автоматизированных систем контроля за процессами измельчения.

Для достижения цели исследования были сформулированы следующие задачи:

- исследовать физико-химические свойства белков мясного сырья и определить взаимосвязь физико-химических характеристик мясных фаршей их влияние на СМХ, РС фаршей на готовые колбасные изделия;

- исследовать условия получения фаршей для вареных колбас с прочной структурой, наибольшей водосвязывающей способностью, которые обеспечивают минимальные потери массы готовых изделий;

- определить оптимальные продолжительность измельчения и влагосодержания различных фаршей для вареных колбасных изделий;

- с использованием гистологических исследований оценить влияние степени измельчения на микроструктуру фаршей из различных тканей мясного сырья и их комбинаций для создания приборов, контролирующих фарше-приготовление.

**Методика исследований, материалы и приборы.** Для исследования влияния резания на СМХ и РС мясного сырья и определения оптимальных режимов измельчения фаршей использовали: лабораторный куттер (ЛК) с вместимостью чаши 8 л и частотой вращения двух ножей  $1\ 000\ \text{мин}^{-1}$ ; куттер малой модели (МК) с вместимостью чаши 80 л и частотой вращения трех ножей  $1\ 450\ \text{мин}^{-1}$ ; куттер большой модели (БК) и вместимостью чаши 200 л марки Л5-ФКН с двумя частотами вращения 3, 6, 9 и 12 ножей, равными  $1\ 328$  и  $2\ 650\ \text{мин}^{-1}$ . Также использовали серийно выпускаемый гомогенизатор РТ-2.

Объектами экспериментов были выбраны «модельный» фарш, который состоял из разных соотношений говядины, свинины и шпика. Также исследовались производственные композиции фаршей для разных видов колбасных изделий: сосисок российских, сарделек говяжьих и свиных, колбасы докторской, которые в рецептуре содержат разные количества говядины, свинины и жира (табл. 2, 3).

В экспериментах использовали преимущественно мясо, предварительно измельченное на волчках с решетками диаметром 3 мм. В начале измельчения в куттер загружали говядину с добавлением воды и льда примерно 50% от предсказуемой нормы и куттеровали в течение 0,5—1 мин. Потом добавляли свинину, специи, остальную воду и лед. Получив однородную систему в процессе измельчения, брали пробы фарша для определения его СМХ.

Химический состав сырья, РС и СМХ мясопродуктов определяли стандартными методами. В каждом образце определяли количество влаги  $W$ ,

белка  $B$ , жира  $\phi$ , золы  $Z_n$  и влагосодержания  $U$  (содержание влаги в 1 кг абсолютно сухого вещества, которое включает золу).

Из реологических характеристик выбрана наиболее чувствительная к изменению химического состава измельченного мясного сырья — предельное напряжение сдвига (ПНС). Статическое ПНС ( $\theta_0$ ) определили на пенетрометре ПМДП (ГОСТ 25276-82) ротационным вискозиметром и коническом пластометре. Вязкость, липкость, влагосвязывающую способность фаршей определяли по рекомендациям [11; 13].

Массовую часть белка в мясопродуктах определяли по ГОСТ 25011-81 с использованием прибора Kiel-Foss-Futomatik. Содержание жира по ДСТУ 4436:2005.

**Результаты и обсуждение.** Изменения СМХ фарша в зависимости от продолжительности его измельчения ( $\tau_k$ , мин) и влагосодержания ( $U_n$ , кг влаги/кг сухого продукта) рассмотрим на примере фарша русских сосисок (50% говядины и 50% свинины), измельченного на куттерах малой и большой модели. Характеристика фарша приведена в табл. 2.

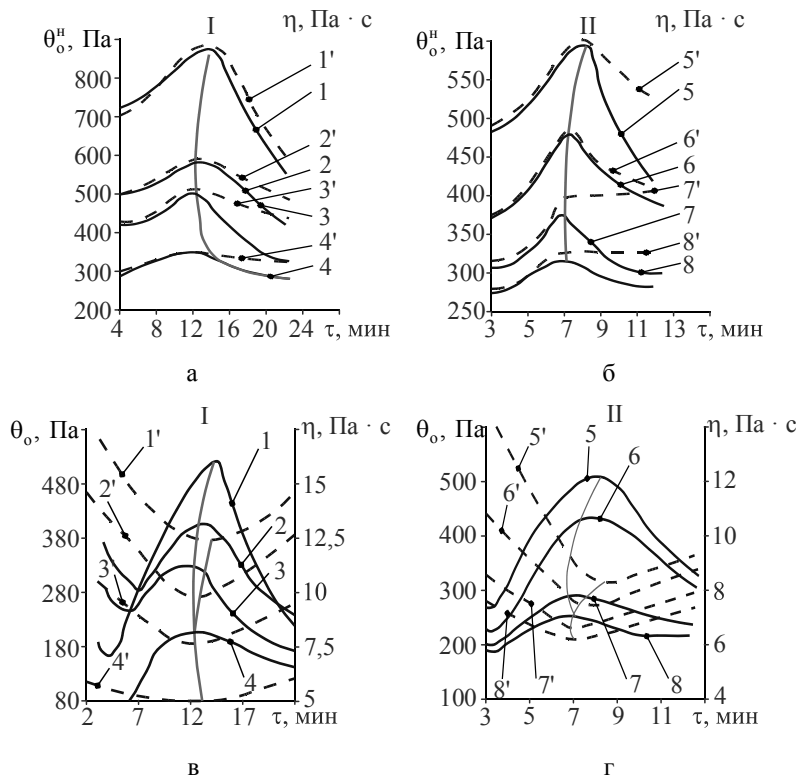
*Таблица 2. Характеристики фарша и исходного сырья*

№ образца	Характеристика фарша			Количество добавленной воды, $m_B$	Характеристика мяса	
	Влаго-содержание, $U_n$	Влажность, $W_n$	Содержание жира, $\phi_n$		Влагосодержание, $U_M$	Влажность, $W_M$
Куттер МК						
1	2,21	0,689	0,166	0,20	1,683	0,627
2	2,44	0,710	0,146	0,30	1,653	0,623
3	2,70	0,730	0,127	0,40	1,650	0,622
4	3,01	0,753	0,111	0,50	1,677	0,627
Куттер БК						
5	2,06	0,676	0,183	0,25	1,440	0,590
6	2,30	0,697	0,158	0,30	1,540	0,606
7	2,55	0,718	0,154	0,45	1,453	0,592
8	2,98	0,740	0,113	0,40	1,850	0,649

При куттеровании фарша в подготовительном периоде, когда добавленная влага образует толстые прослойки, которые облегчают его деформацию, величина предельного напряжения сдвига  $\theta_0$  (ПНС) уменьшается, а потеря массы при термообработке ( $m_{ж}$ , кг/кг продукта) растет. При увеличении продолжительности куттерования (первый период) происходит дальнейшее измельчение частиц фарша, их общая поверхность увеличивается, влага с свободной переходит в поверхностно-связанную. В этом периоде величина ПНС и эффективной вязкости ( $B$ ) при единичном значении скорости сдвига растут и достигают максимального значения, а  $m_{ж}$  максимально уменьшается и увеличивается количество мельчайших частиц. Образование первичной структуры фарша заканчивается. Во втором периоде измельчения (перекуттеровании) продолжается рыхление мышечных волокон мяса и температура фарша продолжает повышаться. Процесс сопровождается насыщением фарша воздухом и эмульгированием жира, что приводит к вторичному структуро-

образованию, а также к уменьшению ПНС, увеличению пластичной вязкости (ПВ) и  $m_{ж}$ . Одновременно происходят коллоидно-химические изменения фарша.

На (рис. 1а) показано изменение ПНС неразрушенной структуры фарша, определенное с использованием ротационного вискозиметра и конического пластометра.



**Рис. 1.** Изменение пластичной вязкости (штриховая кривая) и предельного напряжения сдвига (сплошная кривая): а, б — для неразрушенной структуры фарша; б, в — для разрушенной структуры фарша; 1—8 — кривые, полученные на ротационном вискозиметре; 1'—8' — кривые, полученные на коническом пластометре; I — куттер малой модели; II — куттер большой модели. Номера кривых отвечают технологическим параметрам, приведенным в табл. 2

В табл. 3 приведены данные, которые характеризуют фарш по влагосодержанию, влажности и экстремальным реологическим свойствам.

Сырье в каждой серии опытов имело разную влажность: свинина 0,35—0,45, говядина — 0,68—0,75 частей единицы. Выход готовой продукции зависит от влажности сырья, поэтому в экспериментах определяли выход по отношению к абсолютно сухому веществу продукта.

По реологическим зависимостям (рис. 1) оптимальное влагосодержание  $U_{Н}^{опт}$ , при котором обеспечивается максимальный выход и наилучшее качество готовых изделий, определяется как точка перегиба кривых в координатах экстремальная величина  $CMX$  — влагосодержание.

*Таблиця 3. Фізико-хімічні та реологічні характеристики*

Фарш	№ опыта	Влагодержання, $U_H$	Влажність, $W_H$	Содержимое жира, $\Phi_H$	Количество прибавленной воды, $m_B$	Реологические характеристики фарша (в системе МКС)			
						$\theta_0$	$\eta$	$q_0^H$	$\eta^H$
Говяжьих сарделек	1	2,750	0,733	0,140	0,300	400	7,70	—	7,82
	2	3,410	0,733	0,115	0,400	340	5,20	515	5,40
	3	3,905	0,796	0,105	0,500	300	3,88	430	4,32
	4	4,075	0,803	0,103	0,600	280	3,40	380	3,70
	5	4,785	0,827	0,097	0,700	200	2,00	295	2,16
Российских сосисок	1	2,086	0,676	0,169	0,250	520	8,30	580	—
	2	2,215	0,689	0,170	0,290	440	7,65	500	—
	3	2,400	0,706	0,178	0,350	320	6,96	425	7,30
	4	2,546	0,718	0,178	0,400	300	6,80	380	—
	5	2,984	0,749	0,154	0,450	260	6,25	325	—
Докторской колбасы	1	1,480	0,596	0,225	0,100	600	6,35	880	7,63
	2	1,650	0,623	0,226	0,200	430	5,40	700	6,12
	3	1,800	0,643	0,234	0,250	310	4,86	450	4,70
	4	2,060	0,673	0,220	0,300	250	4,40	366	3,43
	5	2,290	0,696	0,213	0,450	200	4,00	300	2,33
Свиных сарделек	1	1,094	0,522	0,377	0,200	235	3,70	295	2,85
	2	1,240	0,554	0,351	0,400	195	3,20	240	2,45
	3	1,335	0,572	0,342	0,400	160	3,02	200	2,00
	4	1,311	0,567	0,347	0,300	165	3,01	200	2,00
	5	1,449	0,591	0,275	0,500	345	—	455	1,98

**Примечание:** Характеристики фарша в опыте № 3 являются эталонными.

Таким образом, большое количество экстремальных точек содержит одну характеристическую точку, которая отвечает оптимальному режиму, то есть при  $U_H^{opt}$   $\tau_{кэ}$  минимальное. Значение  $\tau_{кэ}$  при  $U_H^{opt}$  является оптимальной длительностью измельчения  $U_H^{opt}$  фарша. С увеличением влагосодержания  $\tau_{кэ}$  уменьшается, а при  $U_H > U_H^{opt}$  — растет, что объясняется увеличением толщины водно-белковых прослоек между частями фарша и, следовательно, уменьшением сил сцепления между элементами коагуляционной структуры. Частицы находятся как будто в плавающем состоянии. Их относительное смещение облегчено, а период релаксации напряжений в фарше с увеличением  $U_H$  уменьшается. Для измельчения наилучшие условия создаются тогда, когда длительность влияния ножа на продукт равна или меньше периода релаксации упругих деформаций, то есть продукт можно рассматривать как упруго-твердое тело. При обводнении фарш становится менее упругим, приближаясь к пластичному состоянию [7].

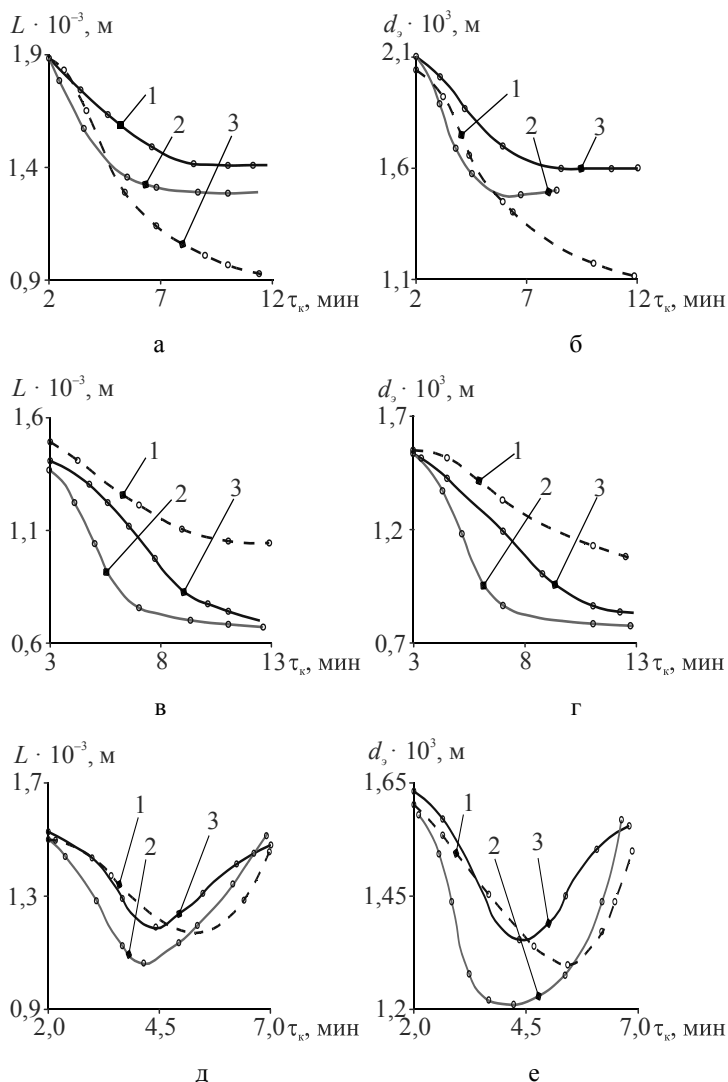
Следовательно, благодаря реологическим зависимостям можно определять оптимальные значения продолжительности измельчения и влагосодержания фарша.

Для характеристики степени измельчения фарша, выяснения сущности этого процесса и причин изменения СМХ проведены гистологические исследования и определен эффективный диаметр частиц фарша:

$$d_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n N_i d_i^2}{\sum_{i=1}^n N_i}},$$

где  $n$  — общее количество размерных классов;  $N_i$  — количество частиц измельченного сырья;  $d_i$  — диаметр частиц продукта.

Типичные кривые распределения размеров частиц показаны на рис. 2.



**Рис. 2. Линейные размеры частиц фарша в зависимости от продолжительности куттерования и влажности:** а, б — говяжьих сарделек — 1 — 0,796; 2 — 0,803; 3 — 0,827; в, г — докторской колбасы — 1 — 0,596; 2 — 0,673; 3 — 0,696; д, е — свиных сарделек — 1 — 0,591; 2 — 0,567; 3 — 0,554

Кривые на рис. 2 дают возможность определить зависимость размеров частиц фарша от влагосодержания и продолжительности кутерирования.

Точка перегиба кривых отвечает  $\tau_{кэ}$ . При построении зависимости  $d_s$  от  $U_H$  при  $\tau_{кэ}$  экстремумы на кривых указывают на оптимальное влагосодержание фарша. Изменения геометрических параметров частиц большинства фаршей подобны. Исключение составляет фарш с максимальным содержанием жира (больше 30%), размер частиц которого достигает минимального значения при  $\tau_{кэ}$ , а потом увеличивается за счет образования жира.

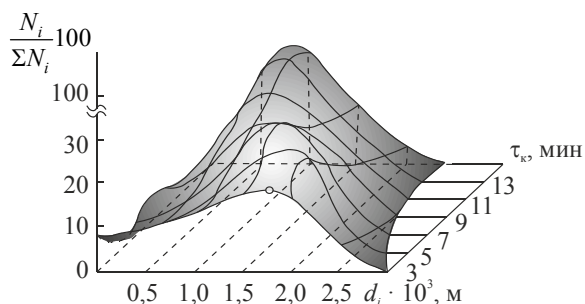


Рис. 3. Количественное содержание частиц фарша докторской колбасы в зависимости от их размеров и продолжительности куттерования

Гистологические исследования дают возможность получить критерий общей оценки степени измельчения. Гистологические срезы мышечных тканей модельно измельченной говядины высшего сорта при разной кратности пропускания ее через волчок показывают, что повышение степени измельчения приводит к исчезновению поперечной сетчатости волокон (рис. 4), которые из клеточной структуры переходят в аморфное состояние.

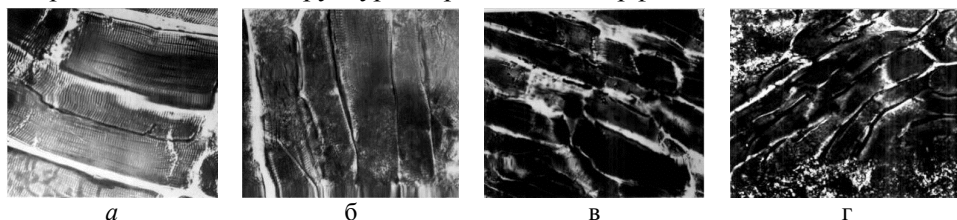


Рис. 4. Гистологические срезы мышечных волокон модельно измельченной говядины высшего сорта при разной кратности измельчения:

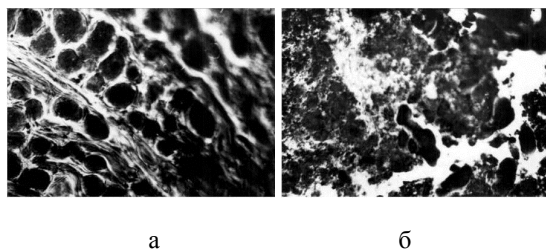
а — начальный образец сырья; б — 5-кратное измельчение; в — 10-кратное измельчение; г — 15-кратное измельчение,  $\times 4$  — четырехкратное увеличение под микроскопом

При одноразовом измельчении мяса в поле зрения микроскопа находятся кусочки, которые имеют типичную структуру мяса. После пятикратного измельчения в поле зрения видно частицы мяса и пустоты, потому что фарш рыхлый. После 15-кратного измельчения пустоты исчезают, фарш уплотняется, а частицы трудно отличить одну от одной, хотя отдельные мышечные волокна еще сохраняют свою форму. После 25-кратного измельчения диаметр мышечных волокон еще больше уменьшается. Не остается без изменений и



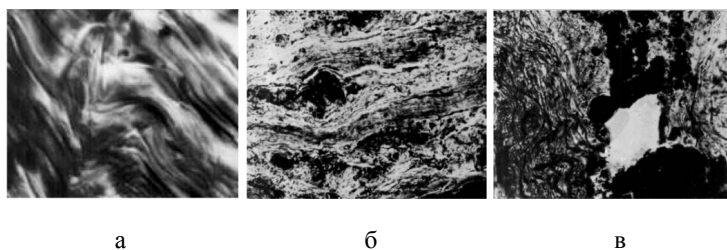
структура мышечных волокон. Эти изменения зависят от степени измельчения. Форма и пропорции мышечных волокон разные. При однократном измельчении говядины фарш преимущественно состоит из кусочков мышечных волокон. При увеличении кратности измельчения пропорции изменяются, и мышечные волокна переходят в аморфную структуру. Если в исходной структуре мышечная ткань имеет хорошо очерченные и правильно расположенные ядра, то в аморфном состоянии продольные и поперечные границы волокон исчезают.

Однократное измельчение почти не влияет на строение жировых тканей (рис. 5а). При дальнейшем измельчении (рис. 5б) жировые ткани разбиваются, образуя агломераты разных размеров — от размера клетки к капле площадью  $25 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2$ . Редко встречаются жировые ткани, которые сохраняют структуру после, например, 25-кратного измельчения.



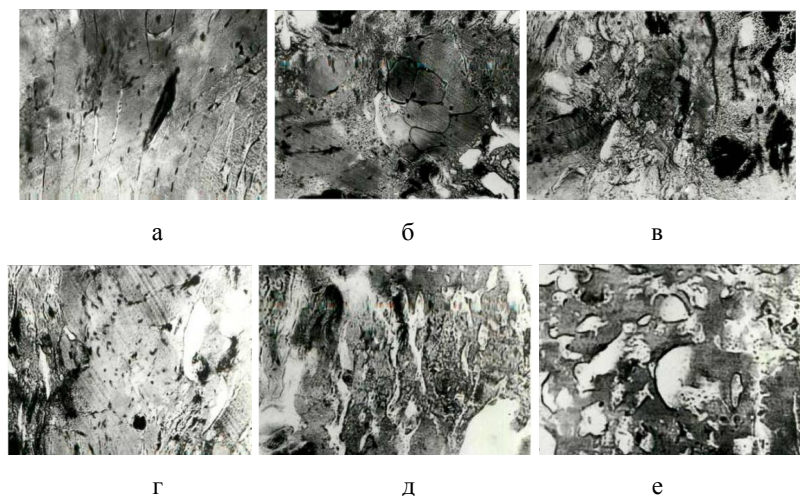
**Рис. 5. Гистологические срезы жировой ткани при разной кратности измельчения:**  
а — однократное; б — 15-кратное  $\times 4$  — четырехкратное увеличение под микроскопом

Соединительная ткань лучше всего сохраняет структуру при прохождении через шнековые измельчители (рис. 6). Особенно выразительно очерчены волокна и ядра в начальном образце (рис. 6а). При увеличении кратности измельчения для соединительной ткани (рис. 6б, в) характерное бесструктурное и безъядерное состояние. В отдельных случаях часть ядер сохраняется, но их расположение очень хаотичное.



**Рис. 6. Микросрезы соединительной ткани при разной кратности измельчения:**  
а — начальный образец сырья; б — 3-кратное измельчение; в — 15-кратное измельчение  $\times 4$  — четырехкратное увеличение под микроскопом

Закономерности изменения структуры фарша российских сосисок в процессе его измельчения продолжительностью 1 до 12 мин на куттере БК приведены на рис. 7.



**Рис. 7. Гистологические срезы образцов фарша российских сосисок при разной продолжительности измельчения фарша в процессе приготовления:**

а — 1 мин; б — 3 мин; в — 5 мин; г — 6 мин; д — 9 мин; е — 12 мин,  
 ×6 — шестикратное увеличение под микроскопом

В начальный период измельчения в течение 1—3 мин уровень СМХ для этого фарша уменьшается. При интенсивном измельчении мышечные волокна уменьшаются в 4—5 раз, а их свободная поверхность резко увеличивается. Добавленная при куттеровании вода или лед не успевают связываться с сырьем и находится в свободном состоянии. Это приводит к уменьшению уровня СМХ фарша. Конгломераты мышечной ткани распадаются на более мелкие частицы. Встречаются незначительные участки, на которых мышечные волокна переходят в аморфное состояние, а фарш насыщается достаточно большими воздушными пузырьками овальной или неправильной формы.

Соединительная ткань, в основном, не разрушается, но максимальные ее размеры в первые 5 мин куттерования уменьшаются. На срезе при  $\tau_k = 1$  мин выявлены соединительные элементы, которые достигают размера  $0,5 \cdot 3,5$  мм, а при  $\tau_k = 3$  мин их максимальный размер составляет только  $0,3 \cdot 2,0$  мм.

В первый период измельчения длительностью 3—5 мин величина СМХ фарша увеличивается. Размер соединительной ткани немного изменяется. Размер частиц мышечных волокон уменьшается в 1,5—2 раза. В этом периоде происходят также коллоидно-химические изменения фарша. Влага полностью насыщает мышечные волокна, которые набухают и переходят в бесформенное аморфное состояние. На гистологических срезах можно видеть переход мышечных волокон в аморфное состояние. Мышечные волокна, которые равномерно расположены в основной аморфной массе фарша. Воздушные пузырьки уменьшаются и более равномерно распределены в фарше. Все это обеспечивает укрепление структуры и, соответственно, повышение уровня СМХ фарша. Готовый фарш с экстремальными величинами СМХ после куттерования в течение  $\tau_k = 5—6$  мин преимущественно состоит из разрушенной ткани. Мышечные волокна переходят в аморфное состояние

розового цвета, в котором рассредоточены отдельные мышечные волокна и их кусочки, а также соединительная и жировая ткани.

Во втором периоде измельчения (от 6 до 12 мин) уровень СМХ снижается. Мышечные волокна, которые остались, измельчаются и почти полностью переходят в бесформенное аморфное вещество.

Для определения влияния продолжительности измельчения колбасного фарша на его физико-химические свойства исследовали модельный фарш, приготовленный из длинных мышц спины говядины (50%) и свинины (50%). Свинину в следующих исследованиях заменяли шпиком из расчета 10, 20, 50%. Количество воды, добавленной к фаршу, складывало 15—40% (с интервалом 5%). Фарш готовили из размороженного сырья на лабораторном куттере (ЛК).

Для выяснения сущности формирования структуры колбасного фарша были проведены комплексные физико-химические исследования, которые включали определение растворимости белков в растворителях с низкой и высокой ионной силой, водосвязывающей способности и реологических характеристик продукта [8].

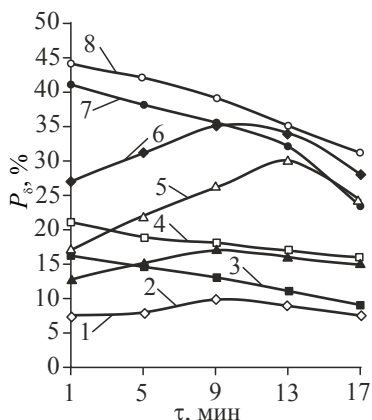
Растворимость белков определяли после четырехкратной экстракции. Вначале белки экстрагировали фосфатным буфером с ионной силой  $\mu = 0,15$  и рН 7,4, потом фосфатным буфером с ионной силой  $\mu = 1,0$  и рН 7,4, перемешивая содержимое мешалкой на протяжении 5 мин.

По мнению авторов работ [8; 10], прочность структуры колбасного фарша определяется, в основном, количеством растворенных белков и их физико-химическими превращениями в процессе технологической обработки, размером и количеством жировых частиц и капель, которые образуются при эмульгировании жира. Известно, что белки под воздействием разных физических и химических реагентов легко изменяют структуру макромолекул, теряя ряд свойств, в частности, растворимость [10]. На рис. 8 приведены результаты измерения растворимости белковых фракций в трех сериях опытов.

Кривые 1, 3, 5, 7 свидетельствуют о том, что процесс механического измельчения заметно влияет на растворимость мышечных белков в солевых растворах. При куттеровании наблюдали два макроскопических эффекта. Вначале увеличивалось выделение растворимых белков (меоплазмы, миофибрил) с клеточных структур до максимального значения, а потом наблюдалось некоторое уменьшение растворимости. Вероятно, на первой стадии процесс выделения мышечных белков преобладает над денатурацией, а на второй — преобладает процесс селективного нагревания. Следствием этих процессов является возникновение или разрушение связей между белковыми частицами или между белками и растворителем. На второй стадии измельчения уменьшается растворимость вследствие нагревания белков с дальнейшей их агрегацией и коагуляцией, которые развиваются тем больше, чем более продолжительное измельчение.

Характер изменения кривых 2, 4, 6, 8 при использовании гомогенизатора РТ-2 (рис. 8) показывает, что с увеличением времени измельчения происходит равномерное уменьшение растворимости белковых фракций, что объясняется локальным перегревом отдельных частиц мяса и денатурацией белков.

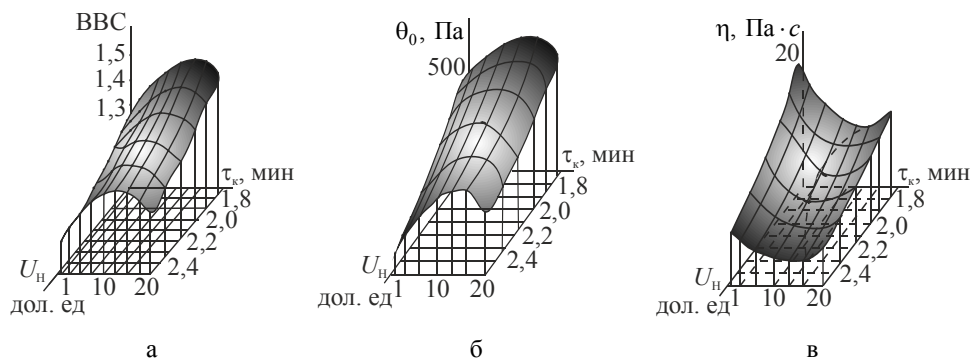
Очевидно, такое сверхтонкое измельчение фарша значительно сильнее влияет на молекулярные и надмолекулярные образования.



**Рис. 8. Трансформация белков, экстрагированных буферными растворами низкой (кривые 1—4) и высокой (кривые 5—8) ионной силы при измельчении фарша:**

1, 5 — кривые, которые показывают изменение белков фарша (50 % говядины, 30 % свинины, 20 % шпика с добавлением 20 % воды) при его измельчении на куттере; 2, 6 — белков того же фарша, но с дополнительным измельчением на гомогенизаторе РТ — 2; 3, 7 — кривые, иллюстрирующие изменение белков фарша (100 % говядины с добавлением 20% воды) при его измельчении на куттере; 4, 8 — кривые, иллюстрирующие изменение белков того же фарша, но с дополнительным измельчением на РТ-2

Влагосвязывающую способность (ВСС) как объективную силу связывания воды с фаршем устанавливали по отношению неотделяемой при прессовании воды к сухому остатку. Изменения ПНС, ПВ, ВС фарша в зависимости от продолжительности измельчения и влагосодержания приведены на рис. 9.



**Рис. 9. Изменение влагосвязывающей способности и реологических свойств фарша в зависимости от влагосодержания и продолжительности куттерования:**

а — влагосвязывающей способности; б — предельного напряжения сдвига разрушенной структуры; в — пластической вязкости

Очевидно (рис. 9), что ВСС и ПНС во время измельчения увеличиваются, достигают максимального значения, а потом уменьшаются. Пластичная вязкость (ПВ) сначала снижается к наименьшей величине, а потом увеличи-

вается. Таким образом, аналогия изменения реологических свойств, водосвязывающей способности и растворимости белков позволяет утверждать, что прочность структуры фарша зависит от количества белков, которые могут переходить из клеточных структур в непрерывную фазу.

Прочность структурной решетки фарша зависит от количества полярных групп, в первую очередь кислых и щелочных, которые расположены на поверхности белковых молекул в непрерывной фазе. Чем больше этих групп на поверхности белков, тем активнее молекулы белка взаимодействуют, связывая лучше воду и жир, тем более прочная структурная решетка фарша, меньше жидкости выделяется при его нагревании.

Анализ полученных результатов показывает (рис. 1), что величины ПНС, определенные на разных приборах, имеют почти одинаковые значения. Исключение составляет фарш с большой влагоудерживающей способностью. Это связано с тем, что при измерении ПНС фарша жидкой консистенции глубина погружения конуса пластометра увеличивалась. В результате этого значения ПНС вышли несколько завышенными. При учете поправки на краевые эффекты значения ПНС, определенные на разных приборах, совпали. В противоположность изменению ПНС величина ПВ в первый период куттерования снижалась, достигая минимального значения, а во втором — повышалась (рис. 1б). Подобно ПНС, липкость фарша ( $P_0$ , Па) во время куттерования повысилась и, достигнув максимальной величины, уменьшилась.

Анализируя результаты экспериментов, можно сделать однозначный вывод, что все исследованные параметры (ПНС, ПВ, В,  $P_0$ ) имеют экстремумы, которые характерны для определенной продолжительности измельчения. В конце первого периода куттерования структура фарша при истинном влагосодержании наиболее однородна и большинство его показателей достигают экстремальных значений. Готовые колбасные изделия из этого фарша имеют наилучшее качество за консистенции, является экстремальной продолжительностью измельчения ( $\tau_{КЭ}$ ). Однако определенное по адгезионным свойствам время  $\tau_{КЭ}$  несколько занижено по сравнению со сдвиговыми и составляет 85—95% от последних, что подтверждается исследованиями авторов работы [4; 6].

Проведенные гистологические исследования фарша (рис. 4–7) объясняют причину изменения СМХ в процессе его измельчения. Степень его измельчения характеризуется эффективным диаметром частиц ( $d_s$ ). Кривые изменения  $d_s$  от  $\tau_K$  имеют точку перегиба, расположение которой совпадает с  $\tau_{КЭ}$ , определенным с помощью СМХ.

Анализ результатов исследований трансформации белков, экстрагированных буферными растворами низкой и высокой ионной силы при измельчении фарша подтверждают (рис. 9), что максимальное количество белков, способных переходить в непрерывную фазу фарша, зависит и от продолжительности измельчения и от состава сырья. Действительно, максимальное количество белков из говяжьего фарша переходит из клеточных структур в непрерывную фазу на 3 мин раньше, чем из многокомпонентного фарша, который состоит из 50% говядины, 30% свинины и 20% шпика, что хорошо согласуется с данными изменения водосвязывающей способности, размерами частиц сырья и реологическими характеристиками.

Значительно влияет на структуру фарша вода. Исследования изменения растворимости белковых фракций фарша (50% говядины, 30% свинины и 20% шпика) при разном влагосодержании показали, что максимальное количество белков, которые перешли из клеточных структур в непрерывную фазу (белков меоплазмы 81%, или белков миофибрилл 78% от их общего содержания) была у фарша с влагосодержанием равным 2,0.

Очевидно (рис. 8), что количество белков, экстрагированных растворителем с высокой ионной силой, приблизительно в 3 раза больше, чем белков, которые экстрагированы фосфатным буфером. Можно допустить, что прочность фарша и его водосвязывающая способность зависят от состояния белков, главным образом миофибриллярных, их способности переходить в раствор и образовывать коагуляционную структуру.

Исследования изменения влагосвязывающей способности и реологических свойств фарша в зависимости от влагосодержания и продолжительности куттерования (рис. 9) показали, что максимальное количество кислых, щелочных и сульфидрильных групп, которые реагируют с парахлормеркурбензоатом, наблюдается при экстремальной продолжительности измельчения и критическом влагосодержании (для этого фарша 2,0). Следовательно, при таких условиях формируется наиболее прочная структурная решетка колбасного фарша. Белки меоплазмы эмульгируют жир и способствуют образованию наиболее стойкой эмульсии [2; 11; 12]. Приведенные данные свидетельствуют, что характер изменений ПНС, ВСС и количества белков, которые переходят в жидкую фазу, аналогичный. Поэтому эти показатели могут быть использованы для объективной характеристики фарша и измерять их нужно с использованием специальных приборов, которые будут описаны в следующих публикациях.

### Выводы

1. Предельное напряжение сдвига, пластическая и эффективная вязкости и липкость дисперсных фаршевых систем различного состава имеют экстремумы, которые характерны для определенной продолжительности измельчения. Продолжение куттерования, при котором структура фарша наиболее однородна и названные показатели при истинном влагосодержании экстремальные, будет оптимальной и обеспечивает наилучшее качество фарша для варенных колбасных изделий.

2. Прочная структура, оптимальное влагосодержание и наибольшая водосвязывающая способность фарша, что обеспечивает наибольший выход колбасных изделий, достигается при экстремальной продолжительности измельчения, которая зависит от резательной способности и производительности измельчающей машины.

3. Оптимальное время измельчения для докторской колбасы составляет 13 мин при влажности  $W_H = 0,673$  и зависит от химического состава сырья, рецептуры колбасных изделий, вида измельчительного оборудования.

4. Гистологические исследования объяснили причину изменения структурно-механических характеристик фаршей в процессе измельчения.

5. Результаты исследований подтвердили, что максимальное количество белков, способных переходить в непрерывную фазу фарша, зависит от продолжительности измельчения и состава сырья.

6. Приведенные данные убеждают, что качественные характеристики фарша могут быть основанием для создания приборов, способных автоматически контролировать СМХ и, соответственно, качество в процессе фаршеприготовления для автоматизации производственного процесса.

### Литература

1. Сухенко В.Ю. Оптимізація процесу отримання дрібнодисперсного фаршу для сирокочених ковбас [Текст] / В.Ю. Сухенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2012. — № 43. — С. 95—100.

2. Сухенко В.Ю. Ступінь подрібнення та його властивості на якість в'яленої та напівкопченої продукції [Текст] / В.Ю. Сухенко, Ю.Г. Сухенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — Харків, 2013. — №5/10(65). — С. 40—42.

3. Нестеренко А.А. Прогнозирование реологических характеристик колбас [Текст] / А.А. Нестеренко, Н.В. Кенийз, Д.К. Нагарокова // Науч. журн. КубГАУ. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — № 03(107). С. 289—301. — IDA: 1071503019. — Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/19.pdf>

4. Кенийз Н.В. Технология производства сырокопченых колбас с применением ускорителей [Текст] / Н.В. Кенийз, А.А. Нестеренко, Д.К. Нагарокова // Науч. журн. КубГАУ [Электронный ресурс]. — Краснодар : КубГАУ, 2015. — № 01(105). С. 581—608.

5. Ahmed J. Dynamic rheology and thermal transitions in meat-based strained baby foods [Text] / J. Ahmed, H. Ramaswamy // Journal of food engineering. — 2007. — Т. 78. — №. 4. — С. 1274—1284.

6. Прогнозирование качества мясных изделий методами математического программирования [Текст] / А.Б. Лисицын, М.А. Никитина, А.Н. Захаров и др. // Теория и практика переработки мяса. 2016; 1(1):75—90. doi:10.21323/2114-441x-2016-1-75-90.

7. Нестеренко А.А. Использование комплексных смесей для производства колбас / А.А. Нестеренко, Н.В. Кенийз, Д.С. Шхалахов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар : КубГАУ, 2014. — №08(102). — С. 1127—1148. — IDA [article ID]: 1021408072. — Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/72.pdf>, 1,375 у.п.л.

8. Nesterenko A.A. Perfectionnement de la technologie des saucissons fumes [Text] / A.A. Nesterenko, N.V. Kenijz // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2014. — № 6(11—12). — P. 62—66.

9. Wirth F. Herstellung haltbarer Dosenwurstchen. I. Verbindung hitzestabiler Wurstohen [Text] / F. Wirth. — Die Fleischwirtschaft, 1973, № 5, P. 661—673.

10. Brush M. Sensory quality of meat and meat products [Text] / M. Brush // Food Sci and Technol. Today. — 1989. — № 3. — P. 247—261.

11. Хлебников В.В. Зависимость растворимости белков и реологических свойств фарша от продолжительности куттерования [Текст] / В.В. Хлебников, В.А. Махонина, А.С. Симоненко. — Мясная Индустрия СССР. — 1975— № 3. — С. 33—35.

12. Chan J.T. Functional and rheological properties of proteins in frozen turkey breast meat with different ultimate pH [Text] / J. Chan, D. Omana, M. Betti // Poult Sci. 2011 May; 90(5):1112-23. doi: 10.3382/ps.2010-01185.

13. Забалуева Ю.Ю. Методы исследования мяса и мясных продуктов [Лабораторный практикум] / Ю.Ю. Забалуева, С.Н. Павлова, С. Ю. Лескова. — Улан-Удэ, Восточно-сибирск. гос. техн. ун-тет, 2007. — 78 с.

## NEW APPROACHES FOR MICROELEMENT ENRICHMENT OF DRY MILK WHEY CONCENTRATES

O. Kochubei-Lytvynenko, O. Chernyushok

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Dry demineralized whey  
Electrical sparking  
dispersion  
Enrichment  
Mineral elements  
Magnesium  
Manganese*

**Article history:**

Received 17.09.2017  
Received in revised form  
08.10.2017  
Accepted 30.10.2017

**Corresponding author:**

O. Chernyushok  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The article is devoted to the study of a new method of raw materials processing in dry milk whey technology. The possibilities of product enrichment with the particles of biogenic elements of magnesium and manganese of demineralized whey of dairy and the rationale for the use of electrospark dispersion of current-carrying granules of metals in the medium of whey are investigated. The article contains the results of studies on the enrichment of milk whey with magnesium and manganese under the electrical sparking processing. It has been established that in the whey the magnesium content increases by an average of 0.6—3.2 times and manganese — 1.4—4 times, depending on the duration of treatment. The reduction of oxidation-reduction potential in the treated serum from -10 mV to -70...-290 mV, depending on the duration of treatment, was studied. The expediency of enriching dairy raw materials with magnesium and manganese as a result of processing the granules of corresponding metals in a discharge chamber with a current-carrying layer is established.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-23

---

## НОВІ ПІДХОДИ ДО МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ЗБАГАЧЕННЯ СУХИХ КОНЦЕНТРАТІВ ІЗ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ

О.В. Кочубей-Литвиненко, О.А. Чернюшок

Національний університет харчових технологій

*Стаття присвячена вивченню нового способу оброблення сировини в технології сухої молочної сироватки. Досліджено можливості збагачення продукту частинками біогенних елементів Магнію й Мангану демінералізованої сироватки молочної та обґрунтовано доцільність використання електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів у середовищі молочної сироватки. Наведено результати досліджень збагачення молочної сироватки магнієм і манганом за умови електроіскрового оброблення. Встановлено, що у молочній сироватці збільшується вміст магнію в середньому у 0,6—3,2 рази і мангану — у 1,4—4,0 рази залежно від тривалості оброблення. Доведено зниження окисно-відновного потенціалу в обробленій сироватці з*



*–10 мВ до –70...–290 мВ залежно від тривалості оброблення. Встановлено доцільність збагачення молочної сировини магнієм і манганом унаслідок оброблення в розрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул відповідних металів.*

**Ключові слова:** *суха демінералізована сироватка, електроіскрове диспергування, збагачення, мінеральні елементи, магній, манган.*

**Постановка проблеми.** За даними аналітичного департаменту Ukrainian Food Export Board (UFEB), на світовому ринку за останні роки зріс попит на українські концентрати з молочної сироватки. Так, експорт молочної сироватки з України у 2016 р. склав 23,9 тис. т. Серед покупців цієї продукції лідирують Китай і В'єтнам (по 2,1 млн дол. США, або 15% кожна), а також Пакистан з часткою в 14% (близько 2 млн дол. США). Стабільним попитом на вітчизняному і світовому ринках користується українська суха демінералізована сироватка. Обсяги її виробництва і споживання в останні роки залишаються незмінно високими. Концентрати із молочної сироватки знаходять попит на підприємствах, що виробляють молочні, м'ясні, хлібобулочні, кондитерські та інші види харчових продуктів, в тому числі спеціального призначення.

Завдяки запровадженню мембранних методів і електродіалізу суха демінералізована сироватка, на відміну від сухої сироватки, виготовленої без залучення технологій знесолення, характеризується низьким вмістом золи, зниженою титрованою кислотністю та приемним солодкуватим присмаком [1—3]. Проте на рівні з бажаним з технологічної точки зору видаленням одновалентних іонів після мембранного оброблення спостерігається зниження вмісту біологічно цінних двовалентних іонів, зокрема кальцію, магнію та мангану [3; 4]. Відомо, що зазначені мінеральні елементи відносяться до життєво необхідних біоелементів [5; 6], дефіцит яких супроводжується специфічними структурними та функціональними порушеннями в організмі людини. Крім того, магній і манган є важливими з технологічної точки зору, їх можна розглядати як чинники інтенсифікації процесів бродіння і сквашування, оскільки ці елементи необхідні для побудови компонентів живих клітин, сприяють енергетичному обміну й синтезу білка дріжджової клітини, здатні активізувати і стабілізувати дію ферментів, спонукають до зростання молочнокислу мікрофлору тощо [6—9].

Поповнення дефіциту мінеральних речовин у харчових продуктах і покращення технологічних характеристик сировини, як правило, відбувається за рахунок внесення солей неорганічних кислот. Однак більшість відомих препаратів погано розчиняються у воді, мають неприємний гіркий смак, що може негативно вплинути на споживчі характеристики продукту. Це є неприпустимим згідно з науковими підходами та принципами збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами [10]. До того ж мінерали в такій формі мають низьку біологічну доступність, а, як відомо, до основних ознак біоелементів відноситься саме їх висока засвоюваність і відповідна форма знаходження в організмі (у складі сполук, аналогічних природним) [5].

Сучасні наукові досягнення відкривають широкі перспективи для виробництва та використання нових форм препаратів біогенних металів, зокрема у

вигляді гідратованих чи цитратованих наночастинок металів (наноаквахелатів), отриманих унаслідок ерозійно-вибухової нанотехнології й електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів [11; 12]. На сьогодні препарати біогенних металів, створені із залученням нанотехнологій, починають використовувати в медицині, ветеринарії, косметології, сільському господарстві та харчовій промисловості [13—16].

Однак застосування водних колоїдних розчинів металів у технології концентрованих молочних продуктів нераціональне з огляду на додаткове додавання води, що призведе до додаткових енерговитрат технології сушіння, яка й так є енерговтратною. Більш перспективним способом збагачення сухих продуктів із молочної сироватки є безпосереднє оброблення сировини за технологією електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів [11]. Оброблення молочної сироватки в такий спосіб забезпечить її збагачення магнієм і манганом, що здатні утворювати метало-лігандові комплекси з компонентами молочної сироватки, а це, в свою чергу, сприятиме підвищенню їх біологічної доступності, та, власне, дозволить класифікувати як біоелементи [5].

**Метою дослідження** є обґрунтування доцільності використання електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів у середовищі молочної сироватки для її збагачення частинками біогенних елементів Магнію й Мангану та використання нового способу оброблення сировини в технології сухої молочної сироватки.

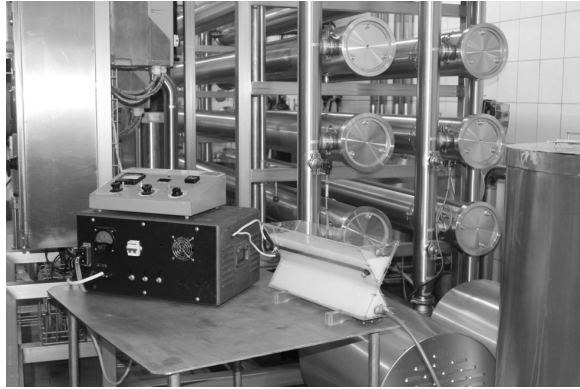
**Матеріали і методи.** Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи держбюджетного фінансування «Наукові засади розроблення ресурсоощадних технологій білоквмісних поліфункціональних концентратів для харчових продуктів цільового призначення».

Об'єктом дослідження є технологія збагачення молочної сироватки мінеральними елементами в результаті електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів у її середовищі. Предмет дослідження: знесолена молочна сироватка до та після електроіскрового оброблення; суха демінералізована сироватка та суха молочна сироватка, збагачена магнієм і манганом.

Сухо демінералізовану сироватку отримували шляхом знесолення підсирної сироватки на нанофільтраційній установці («GEA», Данія) з подальшим розпилювальним сушінням.

Особливістю отримання сухої молочної сироватки, збагаченої мінеральними елементами, було проведення об'ємного електроіскрового диспергування струмопровідних гранул магнію і мангану в середовищі сироватки, знесоленої нанофільтрацією.

Електрофізичне оброблення молочної сироватки здійснювали на експериментальному технологічному комплексі, розробленому науковцями НУБІП України. Він складається з генераторарозрядних імпульсів (частота імпульсів — 0,2—2,0 кГц; індуктивність розрядного контуру — 1 мкГ); розрядної камери з магнієвою та/або мангановою електродною системою та струмопровідним прошарком гранул відповідних металів з регульованим об'ємом камери від 100 до 3000 см<sup>3</sup>; блоку управління; вимірювальних і допоміжних приладів (рис. 1). Як накопичувач енергії використовувався конденсатор ємністю 100 мкФ. Експозиція оброблення становила від 30 до 180 с.



**Рис. 1. Фотозображення експериментального технологічного комплексу для електроіскрового оброблення молочної сироватки**

У процесі дослідження використовували стандартні і спеціальні методи оцінювання органолептичних, фізико-хімічних і функціонально-технологічних властивостей сировини та сухої молочної сироватки. Результати експериментальних досліджень піддавали статистичній обробці за допомогою стандартного пакета програм MicrosoftOffice.

Вміст металічних елементів у зразках сироватки визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії. Для цього використовували атомно-абсорбційний спектрометр AAS1N (Carl-ZeissJena, Німеччина), обладнаний пальником для полум'я ацетилен-повітря та лампами з порожнистим катодом на Магній і Манган. Реєстрація атомного поглинання здійснювалась при довжині хвилі резонансної лінії 285,2 нм (Mg) та 279,5 нм (Mn) у полум'ї ацетилен-повітря.

Розмір частинок встановлювали на аналізаторі дисперсності частинок Malvern Instruments Ltd., Велика Британія; рН визначали на іономірі універсальному И-160 М; окисно-відновний потенціал — платиновим електродом на іономірі універсальному ЕВ-74.

Ступінь злежування сухої сироватки визначали за стандартною методикою 15 А науково-дослідної лабораторії GEA Niro [17], згідно з якою проби сухої сироватки витримували за умов підвищеної вологості (понад 80% відносної вологості) до досягнення рівноваги. Потім порошок висушували у сушильній шафі за температури  $(105 \pm 2)$  °С протягом 60 хв і охолоджували в ексикаторі. Охолоджений порошок просіювали крізь сито з діаметром отворів 250 і 500 мкм на вібраційному приладі протягом 5 хв. Ступінь злежування визначали як певну кількість частинок, що не пройшли крізь сито.

Ознаки неферментативного потемніння сухої молочної сироватки досліджували за зміною білизни продукту під час зберігання за стандартних та нестандартних умов зберігання. Білизну оцінювали візуально та за допомогою приладу Блік-РЗ (Росія).

Дослідження цитотоксичної дії сухої молочної сироватки, збагаченої магнієм і манганом, проводили на базі лабораторії промислової токсикології і гігієни праці при використанні хімічних речовин ДУ «Інститут медицини

праці НАМН України» за методом, що ґрунтується на визначенні впливу дослідного об'єкта на рухливість статевої клітини бика. Оцінювали цитотоксичну дію за індексом токсичності, вимірним на аналізаторі АТ-05 (Росія).

Мікрофотографування зразків сухої сироватки здійснювали за допомогою аналітичного скануючого електронного мікроскопа JSM 6060 LA (Японія).

**Результати і обговорення.** На попередньому етапі досліджували вплив електроіскрового оброблення на показники молочної сироватки, попередньо знесоленої нанофільтрацією. Експозицію оброблення змінювали від 30 до 180 с, температура оброблення —  $(20 \pm 2)$  °С.

Встановлено, що за умови електроіскрового оброблення у молочної сироватці збільшується вміст магнію в середньому у 0,6—3,2 рази і мангану — у 1,4—4,0 рази залежно від тривалості оброблення. Проте відмічено, що збільшення експозиції оброблення понад 120 с негативно впливало на органолептичні показники молочної сироватки. Так, дослідним зразкам молочної сироватки, обробленої понад 90 с в розрядній камері з мангановою електродною системою та понад 120 с в камері з магнієвою електродною системою, був притаманний яскраво виражений специфічний смак і запах, невластивий азнесоленій молочної сироватці. За оброблення протягом 30...60 с специфічний смак і запах були відсутні або майже не помітні.

Виявлено зниження окисно-відновного потенціалу (зростання антиоксидантних властивостей) в обробленій сироватці з  $-10$  мВ до  $-70...-290$  мВ залежно від тривалості оброблення. Це, ймовірно, свідчить як про можливе проходження в системі процесу  $Me \leftrightarrow Me^{n+} + ne$ , так і комплексоутворення між іонами магнію і біолігандами, які містяться в сироватці.

Результати фізико-хімічних досліджень і дисперсного аналізу дослідних зразків знесоленої нанофільтрацією молочної сироватки до та після електроіскрового оброблення, представлені в табл. 1.

*Таблиця 1. Характеристика дослідних зразків молочної сироватки до та після електроіскрового оброблення*

Номер зразка	pH	ОВ-потенціал, (-E), мВ	Середній розмір частинок, мкм	Вміст Mg, мг/кг	Вміст Mn, мг/кг
1	5,30±0,2	5	0,570±0,03	1,05±0,04	0,022±0,002
2	5,54±0,2	60	0,598±0,04	2,92±0,06	0,022±0,001
3	5,80±0,2	175	0,619±0,02	1,05±0,04	0,069±0,003
4	5,95±0,2	201	0,654±0,04	2,97±0,05	0,060±0,003

**Номер зразка:** 1 — сироватка підсирна, знесолена нанофільтрацією (контроль); 2 — сироватка підсирна, оброблена в розрядній камері з шаром гранул магнію між основними електродами магнію (експозиція 60 с); 3 — сироватка підсирна, оброблена в розрядній камері з шаром гранул мангану між основними електродами мангану (експозиція 60 с); 4 — сироватка підсирна, послідовно оброблена в розрядних камерах з шаром гранул металів між основними електродами магнію (експозиція 60 с) та мангану (експозиція 30 с).

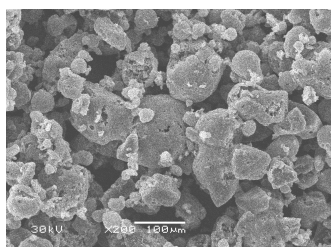
На підставі проведених досліджень обґрунтовано доцільність залучення електрофізичного способу оброблення сировини у технологію сухої молочної сироватки з метою її збагачення. Особливістю запропонованої технології сухої

молочної сироватки є здійснення електроіскрового диспергування струмопровідних гранул Mg і Mn в розрядній камері, заповненій знесолоною молочною сироваткою. На підставі математичного оброблення результатів досліджень встановлено раціональну тривалість електроіскрового оброблення сироватки, а саме: 30 с — для манганової електродної системи і 60 с — для магнієвої.

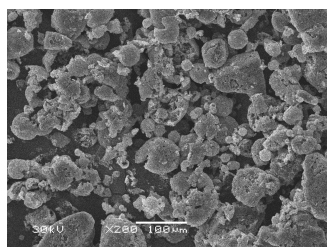
Комплексний порівняльний аналіз фізико-хімічних, фізико-механічних і функціонально-технологічних властивостей дослідних зразків сухої сироватки, виробленої з використанням різних способів оброблення сировини, наведено у табл. 2 та рис. 2 і 3.

**Таблиця 2. Показники дослідних зразків сухої молочної сироватки, виробленої за різних способів оброблення сировини ( $n = 3, p \leq 0,05$ )**

Найменування показника	Суха підсирна сироватка, вироблена без використання технологій знесолення	Суха сироватка, вироблена з використанням:	
		нано-фільтрації	електроіскрового оброблення
Масова частка вологи, %	5,0	3,0	2,2
Вміст Mg, г/кг	0,94	0,93	2,9
Вміст Mn, мг/кг	1,4	1,1	12,9
Титрована кислотність, °T	20,0	12,0	10,0
Індекс розчинності, см <sup>3</sup> сирого осаду	0,6	0,3	0,1
Насипна густина, г/см <sup>3</sup>	0,611	0,429	0,376
Середній розмір частинок, мкм	74,0	60,3	63,6
Показник активності води ( $A_w$ ), ум.од.	0,312	0,196	0,130
Піноутворювальна здатність, %	21,7	44,0	90,4

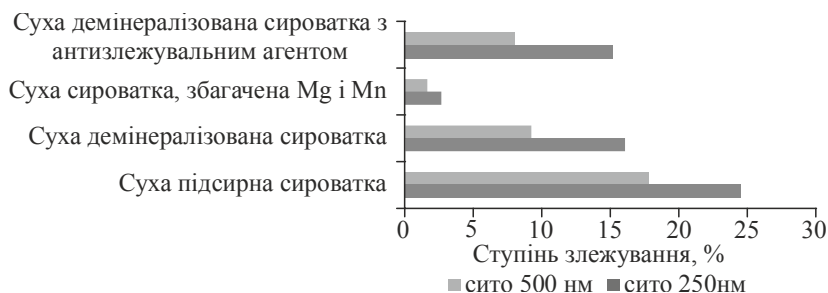


а)



б)

**Рис. 2. Мікрофотографії дослідних зразків: а — сухої демінералізованої сироватки; б — сухої сироватки, збагаченої магнієм і манганом**



**Рис. 3. Ступінь злежування дослідних зразків сухої молочної сироватки в порівняльному аспекті**

Дослідження органолептичних, фізико-хімічних, фізико-механічних і функціонально-технологічних властивостей, збагаченої Mg і Mn, засвідчили відсутність негативного впливу електрофізичного оброблення сировини на якісні показники продукту та структурно-механічні властивості. Навпаки, поряд зі збільшенням вмісту Mg і Mn дослідні зразки збагаченої сухої сироватки мали найкращу розчинність, низьку схильність до утворення грудочок.

На рис. 3 видно, що в зразках сухої підсирної сироватки ступінь злежування перевищує 10%, що характеризує їх як продукти, схильні до комкування. Ступінь злежування сухої сироватки, знесоленої нанофільтрацією, за розміру діаметра отворів сита 500 мкм, наближається до 10%, а за використання сита 250 мкм перевищує даний поріг. Зразки сухої сироватки, збагаченої магнієм і манганом, навпаки, мають дуже низьку схильність до утворення грудочок (ступінь злежування — 1,6 і 2,7% залежно від розміру отворів сита). Це, ймовірно, зумовлено збільшенням кількості сполук магнію, які володіють антизлежувальними властивостями. Цікавим є факт, що дослідні зразки збагаченої мінеральними елементами сухої сироватки за даною характеристикою переважають навіть суху сироватку, в яку з метою покращання антизлежувальних властивостей додано аеросил А-300 (SiO<sub>2</sub>) у кількості 1,0%.

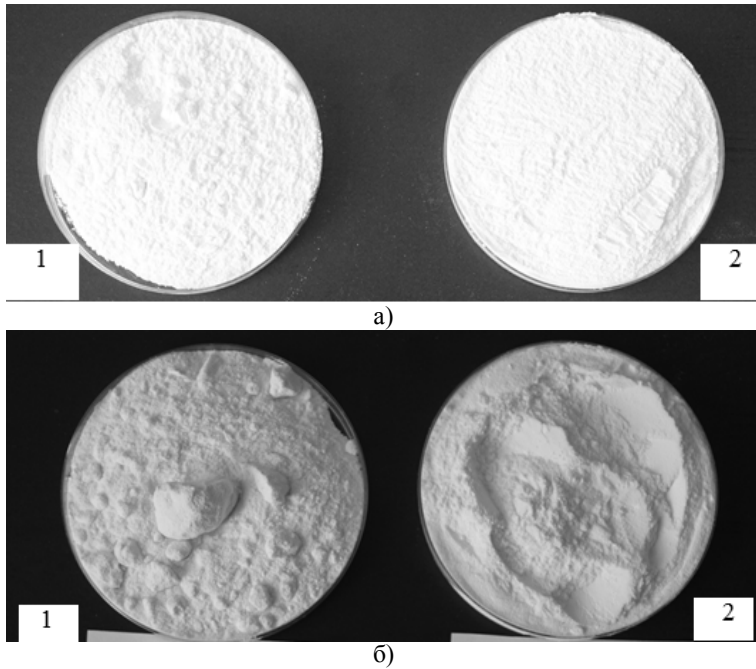
Зразки сухої сироватки, збагаченої магнієм і манганом, також вигідно відрізнялись від решти зразків відсутністю ознак неферментативного потемніння протягом 12 місяців зберігання за температури (18±2) °С і відносної вологості не більше ніж 80% (табл. 3). Для решти зразків у ході зберігання була притаманна поступова втрата білизни. Втрата білизни свідчить про проходження реакції Майяра, яка, як відомо, не уповільнюється навіть за низького вмісту води на відміну від інших біохімічних процесів.

Таблиця 3. Дослідження ознак неферментативного потемніння дослідних зразків сухої молочної сироватки під час зберігання за стандартних умов ( $n = 3, p \leq 0,05$ )

Білизна сухої молочної сироватки, ум.од., при зберіганні:	Суха підсирна сироватка, вироблена без використання технологій знесолення	Суха сироватка, вироблена з використанням:	
		нанофільтрації	електроіскрового оброблення
1 місяць	85,3±3,1	90,6±2,0	97,4±1,0
6 місяців	75,1±2,7	83,6±2,3	95,7±1,1
8 місяців	72,8±3,2	80,1±1,7	95,1±0,8
12 місяців	69±2,7	79±1,8	94,3±1,1

Відсутність ознак комкування та неферментативного потемніння доведена фотозображеннями дослідних зразків через 3 місяці зберігання за стандартних умов зберігання в герметичному пакуванні за температури 18±2° С і відносній вологості не більше 80% (рис. 4а) та під час неконтрольованих умов зберігання у відкритій тарі (рис. 4б).

На рівні із якісними показниками та показниками стабільності під час зберігання на увагу заслуговують дослідження цитотоксичної активності дослідних зразків сухої сироватки. Результати оцінювання цитотоксичної дії досліджуваних зразків сухої молочної сироватки, вироблених із застосуванням електроіскрових розрядів, наведено у табл. 4.



**Рис. 4.** Фотозображення дослідних зразків сухої сироватки через 3 місяці зберігання за стандартних (а) і нестандартних умов зберігання (б): 1 — суха демінералізована сироватка; 2 — суха сироватка, збагачена магнієм і манганом

*Таблиця 4.* Цитотоксична активність зразків сухої молочної сироватки

Найменування дослідного зразка	Середньозважений час рухливості, ум.од., у:		Інтегральна оцінка рухливості, ум.од., у:		Індекс токсичності, %
	досліді	контролі	досліді	контролі	
Суха демінералізована сироватка	31,9	36,3	6 605,5	28 313,4	87,9
Суха сироватка, збагачена магнієм і манганом	34,1		8 776,5		93,9

Встановлено, що індекс токсичності зразків сухої демінералізованої сироватки становив 87,9%, а сухої сироватки, збагаченої магнієм та манганом, — 93,9%. Це дає підстави віднести досліджувані зразки сухої сироватки до 4 класу небезпеки малонебезпечних речовин згідно з ГОСТ 12.1.007.

Відомо, що основним джерелом енергії прямолінійно-поступального руху сперматозоїдів є аденозинтрифосфат (АТФ), синтез якого здійснюють мітохондрії. Рухова функція сперматозоїдів зберігається до тих пір, поки в клітині мітохондрії синтезують АТФ [18]. При контакті сухої підсирної сироватки, збагаченої магнієм та манганом, зі сперматозоїдами бика, відмічено, що їх рухлива активність була навіть жвавішою порівняно зі зразком сухої підсирної сироватки. Тобто електроіскрове оброблення не викликало в сироватці потенційно шкідливих чинників, які б могли спричинити порушення проникності мембран мітохондрій, припиняючи їх функціонування, та змінити енергетичний обмін клітин.

### Висновки

Обґрунтовано доцільність збагачення молочної сировини магнієм і манганом унаслідок оброблення в розрядній камері зі струмопровідним прошарком гранул відповідних металів.

Доведено покращання розчинності, відсутність ознак неферментативного потемніння протягом зберігання і зниження схильності до злежування в сухій молочної сироватці, виробленій із залученням електрофізичного способу оброблення.

Встановлено, що електроіскрове оброблення не викликає в сироватці потенційно шкідливих чинників. Суха молочна сироватка, збагачена магнієм та манганом внаслідок електроіскрового оброблення, не виявляла цитотоксичну дію на рухливість статевих клітин бика.

Реалізація електроіскрового диспергування струмопровідних гранул магнію і мангану в середовищі молочної сироватки не потребує складного технологічного забезпечення, при цьому спосіб характеризується достатньою ефективністю збагачення продукту мікроелементами.

Запропоновано запроваджувати електроіскрове оброблення в технології сухих концентратів із молочної сироватки на етапі підготовки сировини до сушіння.

### Література

1. Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. — Санкт-Петербург : Профессия, 2011. — 804 с.
2. Евдокимов И.А. Обработка молочного сырья мембранными методами / И.А. Евдокимов, Д.Н. Володин, М.В. Головкина, М.С. Золотарёва, В.К. Топалов // Молочная промышленность. — 2012. — № 2. — С. 34—37.
3. De Wit J.N. Lecturer's handbook on whey and whey products. — Eindhoven: Huntrskil Howard, 2001. — 91 p.
4. Шипулин В.И. Использование сухой деминерализованной и изомеризованной молочной сыворотки в технологии колбасных изделий / В.И. Шипулин, А.Д. Стрельченко, Д.Г. Фисенко // Пищевая индустрия. — 2012. — № 3(12). — С. 65—66.
5. Скальный А.В. Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. — Москва : Издательский дом «Оникс 21 век»: Мир, 2004. — 272 с.
6. Дунченко Н.И. Экспертиза молока и молочных продуктов. Качество и безопасность. / Н.И. Дунченко, А.Г. Храмцов, И.А. Макеева, И.А. Смирнова и др.; под общ. ред. В.М. Позняковского. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во. — 2007. — 477 с.
7. Stehlik-Tomas, V. Zinc Copper and Manganese enrichment in yeast *Saccharomyces cerevisiae*/ V. Stehlik-Tomas, V.G. Zetic, D. Stanzer, S. Grba, N. Vahcic // Food Technology and Biotechnology. — 2004. — Vol. 42(2). — P. 115—120.
8. Пономарева О.И. Влияние условий культивирования на выход и качество хлебопекарных дрожжей / О.И. Пономарева, В.Г. Черныш, И.П. Прохорчик // Научный журнал НМУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2001. — Вып. 1. — С. 28—38.
9. Кантере В.М. Теоретические основы технологии микробиологических производств : уч. пособие. — Москва : Агропромиздат, 1990. — 271 с.
10. Спиричев В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В. Б. Спиричев, Л. Н. Шатнюк, В. М. Позняковский; под общ. ред. В. Б. Спиричева. — 2-е изд. — Новосибирск : Сиб. универ. изд-во, 2005. — 548 с.



11. Патент України на корисну модель № 29856. Спосіб отримання аквахелатів нанометалів «Ерозійно-вибухова нанотехнологія отримання аквахелатів металів» // Косінов Н.В., Каплуненко В.Г. / МПК (2006): B01J 13/00, B82В 3/00. Опубл. 25.01.2008. Бюл. № 2. — 2008.
12. *Лопатько К.Г.* Образованиенаноразмернойфракцииметаллов при электроискровой обработке гранул / К.Г. Лопатько, В.В. Олишевский, А.И. Маринин, Е.Г. Афтандиянц // Электроннаяобработкаматериалов. — 2013. — № 49(6). — С. 80—85.
13. *Ткаченко С.В.* Передумови використання препаратів з твердою фазою в нанорозмірному стані у якості каталізаторів процесів харчових виробництв // Продовольчі ресурси: зб. наук. праць. Серія Технічні науки. — 2015. — С. 18—22.
14. *Сердюк А.М.* Нанотехнології мікронутрієнтів: питання безпеки та біотичності наноматеріалів при виробництві харчових продуктів / А.М. Сердюк, М.П. Гуліч, В.Г. Каплуненко, Н.В. Косімов // Академія медичних наук України. — 2010. — Т. 16, № 3 — С. 467—471.
15. *Дробот В.І.* Використання цитратів цинку та магнію, одержаних методом нанотехнології, у хлібпеченні / В.І. Дробот, Ю.В. Бондаренко, В. Г. Каплуненко // Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю НУХТ «Нові ідеї в харчовій науці — нові продукти харчовій промисловості», 13—17 жов. 2014 р., м. Київ. — Київ : НУХТ, 2014. — С. 60.
16. *Українець А.І.* Коагуляційне очищення жомопресової води гелем алюмінію / А.І. Українець, В.В. Олішевський, Н.М. Пушанко, К.В. Ляпіна, А.І. Маринін // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2015. — Том 21, № 5. — С. 237—243.
17. GEA Niro Research Laboratory. — Analytical Methods Dry Milk Products. GEA Niro Analytical Methods, Methods 15 a, 2005.
18. *Альмова А.А.* Определение токсического действия полимерных материалов на основе N, N-диаллиламинокислот / А.А. Альмова, М.Б. Бегиева // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 93. — С. 539—541.

## USE OF NON-REAGENT MODIFIED WATER FOR INCREASE OF FOOD INDUSTRY EFFICIENCY AND IMPROVEMENT OF FOOD PRODUCTS QUALITY

A. Ukrainets, Yu. Bolshak, A. Marynin  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Non-reagent modification  
Redox state  
Biological activation  
of water  
Nutritional value of water  
Structural and energy  
state of water*

---

**Article history:**

Received 17.09.2017  
Received in revised form  
08.10.2017  
Accepted 20.10.2017

---

**Corresponding author:**

A. Ukrainets  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The Article presents general approaches to potable water quality improvement, both as food product and as raw material for food industry. It shows that potable water, as the most important food product despite absence of calories, has features of a food product and is characterized by presence of macro- and microelements which are highly important for physiology of life. The quantity of these elements is limited by current sanitary rules and standards and determine physiological usefulness of potable water. Results of influence of physical (reagentless) factors on physical and chemical features of water are provided, which led to the discovery of biological activeness of non-reagent modified water in food technology. This effect opens the way to development of new high efficient and ecologically perfect technologies for water treatment in food industry and food production. It allows improving consumer properties of food products and provides the possibility to acquire definite valuable healing properties in production process.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-24

---

## ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗРЕАГЕНТНО МОДИФІКОВАНОЇ ВОДИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ХАРЧОВОГО ВИРОБНИЦТВА І ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

А.І. Українець, Ю.В. Большак, А.І. Маринін  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті узагальнено підходи до вирішення проблеми поліпшення якості питної води як харчового продукту та як сировинного компонента харчового виробництва. Показано, що питна вода як найважливіший продукт харчування, який, попри відсутність калорій, має ознаки харчового продукту й характеризується вмістом важливих для фізіології життєдіяльності макро- та мікроелементів, кількісні показники яких обмежено чинними санітарними правилами та нормами, і які визначають фізіологічну повноцінність питної води. Наведено результати впливу фізичних (безреагентних) чинників на*

*фізико-хімічні властивості води, що призвели до відкриття явища біологічної активності безреагентно модифікованої води у харчових технологіях. Даний ефект відкриває шлях до розробки нових високоефективних та екологічно досконалих технологій переробки харчової сировини й виготовлення харчової продукції з полішеними споживчими властивостями і з можливістю набуття ними в процесі виробництва певних цінних оздоровчих властивостей.*

**Ключові слова:** *безреагентна модифікація, редокс-стан, біологічна активація води, харчова цінність води, структурно-енергетичний стан води.*

**Постановка проблеми.** Якість питної води є критичною для запобігання ризику для здоров'я від її вживання. Разом з тим вода є джерелом надходження до організму нутрієнтів (макро- та мікроелементів, необхідних для забезпечення фізіологічних процесів життєдіяльності). Через техногенне забруднення джерел водопостачання питно-господарська водопровідна вода втрачає свою функцію питної води, поступаючись продукції харчової промисловості — бутильованій питній воді.

Водночас вода є важливим сировинним компонентом харчової промисловості, яка за своєю специфікою вимагає дотримання особливих галузевих вимог показників якості води. Дотримання цих вимог є критичним для забезпечення підвищення ефективності харчового виробництва та підвищення якості кінцевої продукції. Актуальним є проведення всеохоплюючого аналізу сучасного стану усвідомлення впливу можливостей покращення показників якості води шляхом впровадження новітніх методів і технологій водообробки з метою оптимізації впливу показників якості питної бутильованої води на фізіологічні процеси в організмі та на ефективність застосування води як сировинного компонента харчових технологій з метою вдосконалення харчових технологій і підвищення якості продукції. Особливого значення набуває дослідження та використання фізичних методів впливу на воду задля регулювання її редокс-статусу для формування її особливого структурно-енергетичного стану як основи оздоровчих властивостей питної води та фактора оптимізації харчових технологій.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Негативні прогнози кількісних і якісних показників водозабезпечення у світі спонукали гігієністів і технологів зосередитись на проблемі безпеки питного та господарського водопостачання. Достеменно визнано, що якість питної води є запорукою здоров'я та довголіття, а невирішені проблеми якості води є причиною 70% захворювань у світі. Фізико-хімічні та гігієнічні дослідження тривалий час зосереджувались на визначенні гранично допустимих концентрацій (ГДК) у питній воді та воді — сировинному компоненті харчових технологій. Накопичення наукових знань призвело до усвідомлення біологічної цінності й фізіологічної повноцінності питної води та суттєвого впливу якості води на якість харчових продуктів. При цьому якість води однозначно пов'язувалась з її хімічним, радіаційним і мікробіологічним вмістом. За цими критеріями Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) проводить глобальний аналіз факторів ризику для здоров'я, пов'язаних із вживанням питної води, та розробляє заходи управління ризиками.

Півстоліття тому було розгорнуто нові дослідження впливу фізичних чинників на окислювально-відновлювальні властивості та стан кислотно-лужного балансу води. У результаті з'ясовано, що без будь-яких реагентів вода може набувати такого структурно-енергетичного стану, який неможливо відтворити за допомогою існуючих хімічних реагентів, досліджено позитивний вплив такої безреагентно модифікованої води на фізіологічні процеси життєдіяльності та якість харчових продуктів.

**Мета статті:** узагальнити сучасний стан усвідомлення фізико-хімічних, гігієнічних і технологічних аспектів формування та застосування безреагентно модифікованої води задля підвищення ефективності харчового виробництва й поліпшення якості продукції, надати приклади успішних досліджень і впроваджень у харчових технологіях безреагентно модифікованої води.

**Викладення основних результатів досліджень.** Вода є всюдишурою у нашому житті в усіх його проявах. Зокрема, гігієністи впевнились у розумінні того, що вода насправді є основним продуктом харчування людини. Доброякісна питна вода є визнаною запорукою здоров'я та довголіття при тому, що забруднені джерела водопостачання спричиняють 70% захворювань у світі [1]. Закономірно, що водопровідна вода питно-господарського призначення стрімко втрачає свою функцію основного джерела питної води, поступаючись продукції харчової промисловості — бутильованій питній воді.

Як сировинний компонент харчових технологій вода, як мінімум, мусить відповідати вимогам Держстандарту до води питної, призначеної для споживання людиною [2]. Чинні ДСанПіН [2] суттєво підвищили вимоги до якості води за хімічними, радіаційними та мікробіологічним показникам. Важливим є заснування нового критерію фізіологічної повноцінності питної води, що наблизило документ до рекомендацій ВООЗ щодо поліпшення якості питної води [4]. Вперше регламентовано нормативні правила виробництва та реалізації бутильованих вод, облаштування та експлуатації бюветних комплексів і розливу доочищеної питної води у тару споживача. Сформульовані нормативи для бутильованої води вищої категорії якості.

Вода як сировина харчового виробництва, відповідно до специфіки потреб галузі, регламентується рядом галузевих державних стандартів та інструкцій [3]. Специфіка харчового виробництва з урахуванням можливої взаємодії хімічних складових води з вмістом інших сировинних компонентів продукції, що може вплинути на гігієнічні та смакові показники продукції, в ряді випадків висуває більш суворі вимоги до якості води, ніж вимоги ДСанПіН 2.2.4-171-10 [5]. З часом, у другій половині ХХ ст. відбувся еволюційний перехід гігієнічної оцінки питної води за критерієм безпеки її вживання до критерію її біологічної цінності та фізіологічної повноцінності. Зрештою, результати досліджень впливу фізичних (безреагентних) чинників на фізико-хімічні показники води призвели до відкриття явища біологічної активності безреагентно модифікованої води [6]. Фізичний сенс активації води полягає в набутті молекулами води під дією фізичного фактора збудження квазінерівноважного термодинамічного стану. Характерною особливістю такого стану є те, що після зняття джерела фізичного впливу на воду, її молекули самочинно прямують до стану первинної рівноваги (процес релаксації). При

цьому збуджені молекули води здатні розсіювати у навколишнє середовище набутий надлишок енергії. При потраплянні активованих молекул води в клітини організму їх релаксація може супроводжуватись передачею енергії збудження оточуючому біологічному середовищу: структурована вода гідратного шару біомолекул, самі біомолекули, органели клітини. Ця енергія здатна витратитися на виконання певної біологічної роботи, що забезпечує життєдіяльність клітини [7].

Характерно, що при наявності набутого енергетичного збудження молекул води можливість позитивного біологічного відгуку на таку воду залежить перш за все від наявності у неї квазінерівноважного стану і практично не залежить від природи енергетичного збуджуючого чинника. У випадку, коли вода під впливом певного фізичного чинника переводиться із стану термодинамічної рівноваги у новий стан рівноваги, активації води не відбувається і, відповідно, релаксація не спостерігається. Це важливо пам'ятати тим, хто вважає будь-яку воду, яка характеризується від'ємним знаком величини окислювально-відновлюваного потенціалу, активованою (живою) водою.

На перший погляд, може здатися, що порівняно з продуктами харчування питна вода як джерело поповнення організму нутрієнтами, відіграє другорядну роль. Але в дослідях на тваринах виявлено, що у тварин, яких поїли водою, збагаченою цинком та магнієм, спостерігалась набагато більша концентрація цих важливих біогенних елементів у сироватці їх крові, ніж у тварин, яких годували кормами, у багатократно більше збагачених цинком і магнієм, аніж вода [7]. Встановлено також, що при кулінарній обробці продуктів у маломінералізованій воді втрата кальцію та магнію досягає 60%, що безперечно знижує їх споживчу цінність. Навпаки, кулінарна обробка продуктів у воді з підвищеною мінералізацією призводить до збагачення продуктів певними мінералами. Отож ми наочно бачимо, що питна вода з оптимальним вмістом макро- та мікроелементів має досить виразні ознаки харчової цінності харчових продуктів.

Природно, що постає питання критеріїв оцінки харчової цінності питної води. Як продукт харчування питна вода підпадає під дію харчового стандарту ООН Codex Alimentarius [8]. Хоча питна вода не характеризується традиційними для продуктів харчування показниками, стандарт ООН вимагає її відповідності критеріям мікробіологічної й токсикологічної безпеки, а також показниками її харчової цінності — наявністю важливих для організму солей і мікроелементів. Вміст у воді аніонів і катіонів мусить бути відображений на етикетці.

З інтенсивним розвитком у другій половині ХХ ст. електрохімічної активації води за допомогою діафрагмових електролізерів, у практику аналізу води долучилося визначення не тільки кислотно-лужного балансу (величини рН води), а також величини та знака окислювально-відновлювального потенціалу (ОВП) води. ОВП води зі знаком мінус (кілька десятків або сотень мілівольт) відбиває електронодонорний стан води, при якому у воді конденсується певна кількість вільних електронів, що надає такій воді відновлювальних властивостей. В анодній зоні діафрагмового електролізера наявна

вода, яка має величину ОВП зі знаком плюс (аноліт) з вираженими окислювальними електронпоакцепторними властивостями.

Досліджено й випробувано декілька найбільш ефективних методів активації води шляхом її обробки акустичним (ультразвуковим) опромінюванням; фізичною дегазацією; опроміненням червоним та інфрачервоним лазером; обробкою вихровим електромагнітним полем (ВЕМП); газовою плазмою внаслідок електричного пробую води під дією електричних імпульсів високої напруги та ін. Але найбільш поширеним на практиці для активації води є електрохімічний метод з використанням діафрагмового електролізера [9]. Як ми побачимо далі, цей метод найчастіше впроваджується і в харчових технологіях.

З розвитком електрохімічного методу біоактивації води зросло й кількість досліджень впливу вживання аноліту та католіту на показники якості здоров'я. В більшості таких праць досліджували зміну структурно-енергетичного стану води під дією безреагентного фізичного впливу на воду й аналізували зміну показників стану здоров'я людини залежно від набутого стану молекулами води.

Але спочатку було чітко зафіксовано позитивний вплив на показники здоров'я природної бутильованої води порівняно із вживанням водопровідної води. У статті [10] в дослідях з участю студентів-добровольців досліджено вплив на їх показники здоров'я водопровідної, бутильованої та свіжоталої води. Спочатку методом міжфазної тензометрії визначили поверхневий натяг води, а потім, після її вживання, вимірювали поверхневий натяг сироватки крові, стандартні показники імунограми та робили клінічний аналіз крові. До початку експерименту його учасники вживали водопровідну воду. Потім місяць вони вживали бутильовану воду, після чого у 67% досліджуваних людей покращились показники лімфоцитів і поліпшився показник, що визначає силу імунного відгуку.

Через місяць, після повернення до вживання водопровідної води, відбувся зворотний процес повернення показників лімфоцитів до початкових показників. Як встановлено, постійне вживання водопровідної води студентами-добровольцями викликало зниження у 22% з них рівня гемоглобіну, у 44% зниження рівню еритроцитів, а в 11% зниження швидкості осідання еритроцитів. Повернення до вживання бутильованої води призвело до поліпшення гематологічних показників. У 78% з них достеменно покращились показники розумової працездатності, у всіх зросли показники м'язової витривалості. У 67% спостерігалось покращення пам'яті та загального самопочуття, позитивного настрою та підвищення активності. При цьому зниження у 78% досліджуваних поверхневого натягу сироватки крові свідчить про наявність біологічної активності бутильованої води.

Таким чином, встановлено наявність біологічної цінності бутильованої води, вживання якої достеменно покращує показники здоров'я учасників експерименту [10].

Дослідникам впливу на показники здоров'я зміни структурно-енергетичного стану безреагентно модифікованої води довелося спочатку самостійно визначити, які фізичні параметри здатні якісно чи навіть кількісно характери-

зувати структурно-енергетичні зміни у фізично модифікованій воді, а потім, на цій основі, вивчати біологічний відгук тест-об'єктів різного рівня (аж до організму людини) на перебування у досліджуваній воді, або ж на її вживання [7]. У таких новаторських дослідженнях, як [11; 12] вивчали такі види фізичного впливу на воду:

- інфрачервоне випромінення (ІЧ);
- електромагнітне поле (ЕМП);
- фільтрація крізь алмазний пісок (АП);
- вихрові електромагнітні поля (ВЕМП).

Для досліджень використовували водопровідну воду (ВВ) з хімічним складом, характерним для рівнинних річок східно-європейського регіону (до яких відносяться річки дніпровського басейну), та артезіанську воду (АВ). Встановлено [11], що при контакті як ВВ, так і АВ з поверхнею частинок алмазного піску ступінь структурованості води (ССВ) зростає у 3...3,5 раза. При обробці води ІЧ випроміненням лазера цей структурний показник зменшується на 35%. Спостерігався і зворотний процес: вода, оброблена ЕМП, зменшувала ступінь структурованості до 0,48-0,54%, а потім протягом 7 діб ССВ спонтанно повертався до початкового рівня [11]. Встановлено, що при низькій (0,48%) і високій (0,78%) ССВ спостерігався негативний вплив на морфофункціональний стан внутрішніх органів. Вживання піддослідними тваринами води, безреагентно модифікованої різними способами з проміжною величиною ССВ між вказаними крайніми значеннями, характеризується мінімальними негативними морфофункціональними наслідками.

Вода за своєю природою є структурою речовиною. Вона структурується в об'ємі, утворюючи водні асоціати (кластери), час життя яких дуже короткий, але вільні молекули знову утворюють асоціати і ця динамічна система співіснування двох фаз води знаходиться у вічному русі. Але принципове значення має здатність води структуруватися особливим чином на межі розділу вода/іони, молекули, макромолекули, поверхня твердого тіла. У тонкому шарі граничної води її фізико-хімічні властивості кардинально відрізняються від властивостей об'ємної води. Взагалі, в природі найбільш яскраві та важливі процеси (включаючи процеси життєдіяльності) відбуваються на фазових межах. Структура граничної води залежить від природи та властивостей поверхні, з якою вода межує. Показово, що особливості структури граничної води визначає функціональний стан поверхні, з якою вода межує. Наприклад, макромолекули білків у живих клітинах зберігають нативну структуру завдяки льодоподібній структурі у граничній щодо білків води. При підвищенні температури структура граничної води деформується і білки денатурують (згортаються). Для білків людини така гранична температура, яка зберігає нативну структуру білків, складає 42° С. Тому температура тіла, вища за 42°, несумісна з життям. Всередині живої клітини існує оптимальний фізіологічний баланс структурованої та вільної води, який забезпечує нормальний перебіг біофізичних і біохімічних процесів (рідинно-кристалічний стан внутрішньоклітинного водного середовища). Структурований стан внутрішньоклітинної рідини особливо важливий для оптимального перебігу в ній біоенергетичних процесів. Як вважає В.Л. Воєйков [13],

енергія електронного збудження не релаксуватиме досить довго у структурованій воді, що може бути вкрай важливим у біоенергетиці клітин.

Цікаво, що вищенаведена помірна ССВ характерна для природних поверхневих і підземних вод східно-європейського регіону, що, очевидно, свідчить про адаптаційну причину переваги вод з природною ССВ перед штучно структурованою та штучно деструктурованою питною водою. Про це варто пам'ятати перед прилавками із пристроями, які структурують воду.

У [12] показано, що посуд, у якому зберігається вода, може активно впливати на її ССВ. Наприклад, ССВ води у металічному посуді (срібло, мельхіор) зростає у 1,5 раза, а в посуді із структурно-аморфного матеріалу (скло, кераміка, емальована сталь) показник ССВ води зменшується. Звичайний пісок підземних водонасичених горизонтів (двоокис кремнію) структурує воду як алмаз, але ССВ води при цьому значно менший. Сонячне світло здатне структурувати воду у скляному посуді [12].

Самочинна (спонтанна) структурна самоорганізація молекул води обумовлена наявністю у її молекулі чотирьох електричних полюсів, утворених за рахунок перерозподілу навколо її молекули електронної щільності зовнішніх електронів. Біля кожного атома водню існують полюси з плюсовим знаком заряду. Біля атому кисню локалізовано два полюси з від'ємним знаком заряду. Просторове розділення електричних зарядів у молекулі води визначає наявність у неї дипольних властивостей. Завдяки вказаним електричним властивостям молекули води чутливі до електричних полів сусідніх молекул води (фізична причина їх спонтанної асоціації), а також до зовнішнього електричного поля. За це вода одержала назву полярного середовища.

При електролізі води відбуваються відомі анодні та катодні реакції, які відтворені на рис. 1.

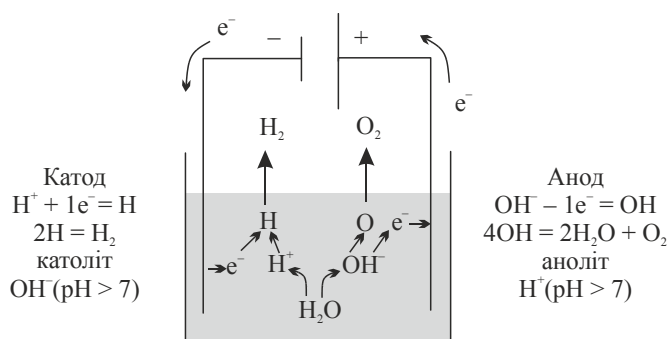


Рис. 1. Схема анодного і катодного процесів при електролізі води

Як видно з рис. 1, біля поверхні аноду відбувається окиснення  $OH^-$  з виділенням в об'єм води молекулярного кисню  $O_2$  та утворенням кислого середовища — аноліту. В катодній зоні відновлюються катіони  $H^+$  та відбувається виділення в об'єм молекулярного водню  $H_2$  з утворенням лужного середовища — католіту. Будучи розділені діафрагмою, аноліт і католіт відбираються кожний самостійно як цільові продукти.



Щодо католіту, то найбільш яскравою його медико-біологічною властивістю є виражена антиоксидантна властивість [9]. При питті католіту його підвищена електронодонорна активність сприяє нейтралізації руйнівних для клітинних мембран і біомолекул суперактивних вільних радикалів. Але контроль за дозами прийому католіту має велике значення. Згідно з [14], добова доза католіту не повинна перевищувати 300 мл, адже його надмірне вживання може пригнічувати активність не менш важливих для життєдіяльності окислювальних ферментів. У [14] наведено важливі для використання у харчових технологіях факти, пов'язані з можливістю життєдіяльності та розмноження мікроорганізмів різних типів і груп лише в певних межах величин ОВП та пов'язаних з ними значень рН поживного середовища [15]. Ці параметри пов'язані таким чином, що при зміні рН на 1 одиницю, величина ОВП змінюється на 60 мВ. При підкисленні водної системи значення ОВП (в мілівольтах) зростає із знаком плюс, при підлуженні — із знаком мінус.

Електронодонорні властивості атоліту обумовлюють при його вживанні багатоклітинними організмами покращення регенеративних функцій клітин і тканин. Наприклад, рани та пошкодження на шкірі швидко загоюються при обробці їх католітом. У різних технологіях, включаючи харчові, велике значення можуть мати чудові миючі властивості католіту [14].

Аноліт володіє значним антисептичним знезаражуючим ефектом у широкому спектрі його застосування. У випадку прийому всередину в певних дозах аноліт здатен забезпечувати детоксикацію клітин і тканин й організму в цілому, завдяки окисленню наявних там токсичних продуктів обміну речовин (шлаків) та ксенобіотиків зовнішнього походження. При цьому і аноліт, і католіт не мають шкідливих побічних наслідків їх позитивної лікувально-профілактичної дії через те, що в хімічному плані вони залишаються просто водою, але в особливому структурно-енергетичному стані. Але при прийомі безреагентно модифікованої води зміни ОВП біологічних рідин у складі багатоклітинних організмів вивчені недостатньо й клінічні дослідження мають бути продовжені. До того ж параметри крові, лімфи, міжклітинної рідини й цитоплазми соматичних клітин щодо величини ОВП досі не нормовані. Тому подальші детальні дослідження біологічного та фізіологічного значення цього параметра є важливою та актуальною проблемою.

На відміну від медичної сфери, відсутність нормування ОВП води як сировинного компонента у харчовій галузі не обмежує зусилля дослідників, які працюють задля використання безреагентно модифікованої води для підвищення ефективності виробництва та підвищення якості продукції. Кількість ефективних впроваджень у цьому напрямку постійно зростає.

У [16] для підвищення ефективності виробництва солоду при замочуванні, пророщуванні та витримці солоду замість хімічних реагентів (кислот і хлорвмістних препаратів) успішно застосовані слабкі розчини аноліту та католіту у певній технологічній послідовності. При цьому при безреагентній активації води утворюються метастабільні йони та радикали, що забезпечують кислотну та лужну реакції та біологічну активність препарату. Після застосування активні частинки самочинно рекомбінують, що забезпечує екологічну доско-

налість процесу. В результаті поліпшуються якісні показники солоду й зменшується собівартість виробництва, скорочується термін технологічного циклу та виключаються витрати на очищення забруднених стоків. У [17] наведено дані щодо широкого застосування електрохімічно активованих розчинів (ЕХА) у технології виробництва продуктів з рибної та рослинної сировини.

Зазначається, що найбільше поширення застосування ЕХА-води набуло у технологіях виробництва таких харчових добавок, як крохмаль, пектин, молочно-білкові концентрати тощо. Застосування електроактивованої води у виробництві хлібобулочних виробів, а також при виробництві чаю, какао, кави дає змогу поліпшити якість готової продукції та інтенсифікувати процес її виробництва.

У м'ясній промисловості розроблені технології з використанням ЕХА-води, які дають змогу поліпшити якість сировини та готового продукту, збільшити вихід продукції та стійкість при зберіганні [18].

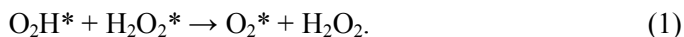
У [17] з використанням ЕХА-води підвищена якість і, що особливо актуально, безпека вживання продукції завдяки участі ЕХА-розчинів хлориду натрію в процесі ферментативного гідролізу рибної сировини.

Рослинна сировина для харчової продукції в процесі її вирощування проявляє позитивну чутливість до безреагентно модифікованої води. У [19] досліджено біологічну активність католіту як розчинника добрив, так і самостійного біоактивуючого агента. Тут католіт відіграє подвійну роль: як коректор рН поживного середовища і як донор електронів. Такий подвійний ефект неможливо досягнути кореневою системою внесення добрив, а лише безкорневим підживленням. Автори [19] пов'язують покращення роботи фотосинтезу при позакореновому підживленні католітом з його електроннодонорною активністю. Це сприяє переведенню молекулярного кисню  $O_2$  в активний стан — супероксид аніон кисню  $O_2^-$  а також з антиоксидантною властивістю католіту. Остання стимулює тканинне дихання, фізіологічну регенерацію, активацію ферментів. Роль католіту полягає не лише в наявності вільних ОН-груп (як джерела вільних електронів), але й у підвищенні його енергетичного стану за рахунок властивості відновлювача, тобто до здатності постачати електрони рослинам. Подібні коментарі авторів щодо фундаментальних механізмів активації процесів фотосинтезу через участь католіту в постачанні електронів рослинам безпосередньо у реакційну зону, чудово корегуються з сучасною концепцією усвідомлення нового фактора ризику для здоров'я через дефіцит електронів у доквіллі, питній воді та харчових продуктах [20].

Важливим спостереженням авторів [19] є те, що підвищена активність електронів у ЕХА-води сприяє перетворенню молекулярного кисню  $O_2$  в активну форму кисню  $O_2^-$ . Активні форми кисню (АФК) виробляються в клітинах організму й відіграють важливу роль у процесі активації різноманітних біохімічних реакцій, котрі забезпечують обмін речовин клітин й клітинний гомеостаз. Проте при збільшенні концентрації АФК зростає їх роль у пошкодженні біомолекул за рахунок їх окислювальної деструкційної дії.

АФК постійно виробляються особливими ферментами у всіх тканинах та органах і беруть активну участь у регуляції процесів життєдіяльності. Одно-

часно організм для боротьби з руйнівною дією залишкових АФК вибудовує систему антиоксидантного захисту [13]. Суперечності в цьому немає, адже в реакціях усунення АФК народжуються кванти енергії, необхідні для утворення нових порцій активного кисню. Тому чим більше виробляється АФК, тим більше виділяється енергії для потреб організму [13]. Супероксидний радикал  $O_2^-$  притягує до себе протон (продукт дисоціації молекул води), втрачаючи при цьому заряд (нейтралізація), але не втрачаючи свою хімічну активність. Коли такий нейтральний кисневий радикал  $(O_2H)^*$ , де знак (\*) означає зайвий електрон, передає цей електрон іншому такому ж радикалу  $(O_2H^*)^*$ , народжується збуджений, тобто хімічно активний, кисень  $*O_2$  (синглетний кисень), а також перекис водню  $H_2O_2$ :



При розкладі перекису водню виділяється енергія, здатна активувати додаткові молекули кисню, що підтримує вже задіяний процес. Стосовно процесу фотосинтезу, кванти світла взаємодіють з молекулами хлорофілу і в результаті цього електрони молекул хлорофілу переходять у більш високий енергетичний стан (електронне збудження молекул). Надлишкова енергія частки збуджених молекул передається іонам водню та гідроксилу, наявним у воді. Іони гідроксилу  $OH^-$  віддають свої електрони іншим молекулам і перетворюються у вільні радикали  $OH$ . Вільні радикали  $OH$  взаємодіють між собою згідно з реакцією:



Передача електронів у наведених реакціях фотосинтезу може підтримуватися за рахунок електронодонорних властивостей католіту, що є наочним прикладом безпосередньої біостимулюючої та біоенергетичної ролі католіту у фотосинтезі при позакореневій його стимулюючій дії на рослини [19].

Детальний розгляд біостимулюючого механізму впливу католіту на процес фотосинтезу важливий для кращого розуміння позитивного впливу безреагентно модифікованої води у харчових технологіях.

Більш глибокому розумінні фізико-хімічних аспектів безреагентної активації води сприяє також дослідження процесу безконтактної активації та активації води як процес, супутній хімічним реакціям у досліджуваній воді [21].

Герметичні ампули з фізіологічним розчином занурювали в аноліт та католіт і після експозиції 30 хвилин спостерігали зміну величини і знаку ОВП та рН в ампулах, які змінювались відповідно до цих параметрів у католіті та аноліті. Аноліт і католіт діють на фізіологічний розчин крізь скло, лавсан і фторопласт. Причому для скла та лавсану спрямованість змін рН та ОВП відповідне анодній чи катодній обробці. А для фторопласту спостерігається зміна знаку ОВП води в ампулі на протилежний знаку електрохімічній обробці. Після вилучення ампул з катодної та анодної камер, відбувалася характерна для активації водного розчину релаксація величин ОВП і рН. Останнє свідчить про те, що безконтактна ЕХА відбувається на енергетичному (електромагнітному) рівні без масообміну йонів крізь стінки ампул. Даний ефект однаково працює як при ввімкненому, так і при вимкненому електролізері.

Ефект безконтактної активації демонструє, що певні харчові продукти (овочі, фрукти та ягоди) при зануренні у католіт чи аноліт набуватимуть корисні для споживчих властивостей редокс-характеристики.

У [21] вивчалась можливість безконтактної активації води, де як активуюче середовище (замість аноліту та католіту) використовувались хімічні реагенти, здатні вступати між собою в хімічну взаємодію. Для приготування розчину з від'ємним знаком ОВП (аналог католіту) у воді спочатку розчинили в першому розчині сульфат натрію та соду і одержали ОВП розчину  $-71$  мВ. Другий розчин (метол, гідрокінон, калій бромистий) мав ОВП  $+118$  мВ. ОВП розчинника — дистильованої води —  $+300$  мВ. Після змішування двох розчинів, ОВП суміші одержали рівним  $-400$  мВ. У цей розчин занурили герметичний поліетиленовий пакет з водою з величиною ОВП  $+300$  мВ. Через 2 год ОВП води у пакеті набув величини  $+200$  мВ, а через 20 год —  $+75$  мВ.

При вилученні пакета з активуючого розчину спостерігався процес релаксації.

Автори даної статті у власному експерименті в 1 л водопровідної води з параметрами ОВП  $+111$  мВ; рН  $= 7,1$ , питома електропровідність  $579$  мСм/см розчинили 40 мг аскорбінової кислоти. Одержаний розчин мав величину ОВП  $-8$  мВ; рН  $+ 6,9$ , питома електропровідність  $579$  мСм/см. Розчин у водопровідній воді суміші аскорбінової кислоти ( $10$  мг/л) та бурштинової кислоти ( $150$  мг/л) мав параметри: ОВП  $+32$  мВ; рН  $= 7,4$ ; питома електропровідність  $499$  мСм/см. Тобто в обох дослідах початкове значення ОВП води ( $+111$  мВ) у розчинах антиоксидантних добавок очікувано регресувало в бік електронодонорного стану на  $54...119$  мВ. В іншому досліді послідовно розбавляли дистильованою водою вихідний розчин аскорбінової кислоти в дистильованій воді ОВП  $= -72$  мВ. При двократному розбавленні цього розчину одержали ОВП  $= -76$  мВ; подальше двократне розбавлення ОВП  $= -66$  мВ; аналогічне розбавлення — ОВП  $= -50$  мВ. Тобто при зазначених процедурах величина ОВП відновлювального середовища практично не змінюється при зменшенні концентрації аскорбінової кислоти в розчині. Таким чином можна одержати мінімальну концентрацію аскорбінової кислоти, що одночасно забезпечує збереження антиоксидантної активності водного розчину.

Цікаве спостереження ми одержали при дослідженні редокс-статусу бутильованої води «Моршинська». ОВП свіжовідкоркованої води дорівнювало  $+9$  мВ, що характеризує практичну відсутність у воді окислювальної активності. Після 24 год витримки проби цієї води у контакт з повітрям приміщення, ми отримали аномальний ефект зміни її окислювально-відновлювального потенціалу, який усупереч усталеному уявленню регресував до величини мінус  $38$  мВ. Тобто через процес масообміну розчинених у воді газів з газами, наявними у повітрі приміщення, вода набула виражені електронодонорні показники ОВП. Подібна тенденція збереглася при розчиненні в бутильованій воді «Феофанівська класична» натрієвої солі аскорбінової кислоти. Вихідні параметри води: ОВП  $= 32$  мВ; рН  $= 6,9$ ; питома електропровідність  $618$  мСм/см. Після одержання розчину аскорбату натрію у цій воді ( $250$  мг/л) параметри розчину набули величин: ОВП  $= -15$  мВ; рН  $= 7,0$ ; питома електропровідність  $561$  мСм/см.

**Таблиця 1. Дослідження зміни показників води «Феофанівська класична» при експозиції на повітрі межі розділу вода/повітря**

Вихідна вода			
Час експозиції, годин	ОВП, мВ	рН,	Питома електропровідність, мСм/см
0	+32	6,9	618
Розчин аскорбату натрію (250 мг/л у воді «Феофанівська класична»)			
0	-15	7,0	561
0,5	-35	6,9	653
0,75	-26	6,7	562
4,0	-33	6,7	573
21,3	-37	6,6	613
25,5	-53	6,8	602
73	-47	6,7	636
81	-35	6,7	646
96	-57	7,0	658
108	-55	7,0	698
132	-50	6,7	699
138	-48	7,0	704
140	-47	6,9	747
156	-42	7,1	782

Як видно з табл. 1, набуті в розчині аскорбату натрію у воді електронодонорні властивості зберігаються на рівні значень ОВП від -15 мВ до -57 мВ принаймні тиждень з перспективою подовження терміну. Подальші дослідження з набуття оздоровчих властивостей питної води з електронодонорними характеристиками є вельми перспективними, зважаючи на їх можливе позитивне застосування (наприклад, під час сезонних вірусних і респіраторних масових захворювань), як доступний лікувально-профілактичний засіб. Обнадійливим виглядає набуття додаткових антиоксидантних властивостей такими традиційними природними антиоксидантами й джерелами вітамінів, як свіжі овочі, фрукти та ягоди. У [22] показана можливість посилення електронодонорних властивостей внутрішньоклітинних водовмісних середовищ овочів, фруктів та ягід (соків). Сутність винаходу полягає в тому, що рослинний харчовий продукт обробляють католітом (витримуючи його зануреним у католіт) безперервно вимірюючи при цьому ОВП внутрішньоклітинного соку, доводячи його до величини, притаманній свіжим плодам. Технічний результат полягає у відновленні якості рослинних харчових продуктів після певного періоду зберігання, шляхом регресії ОВП їх внутрішньоклітинної рідини до електронодонорного редокс-стану у клітинах свіжих плодів. Завдяки тому, що фрукти, овочі та ягоди мають зовнішню оболонку, що ізолює їх від зовнішнього середовища, кожний такий плід ми можемо вважати за ємність, заповнену внутрішньоклітинним соком. Тому плоди цілими завантажуються в католіт і витримуються там до набуття відновлених кондицій шляхом безконтактної активації. При цьому вичавлені з плодів соки можуть бути відновлені до свіжого стану шляхом безконтактної активації при розміщенні їх у оболонці з тонкого поліетилену із подальшим зануренням у католіт чи аноліт.

### Висновки

Таким чином, для подальшого розвитку передових харчових технологій із залученням безреагентно модифікованої води з метою підвищення ефективності виробництва та якості продукції створено перспективні наробки, які безперечно стануть основою для розробки нових вискоелективних, екологічно досконалих технологій переробки харчової сировини та виготовлення харчової продукції з поліпшеними споживчими властивостями та з можливістю набуття ними в процесі виробництва певних цінних оздоровчих властивостей. Роботи в цьому напрямку розгорнуто в Національному університеті харчових технологій, зокрема в рамках виконання проекту «Створення наукових основ технологічних процесів відновлення води до її природного структурно-енергетичного стану», номер держреєстрації: 0117U001244.

### Література

1. Руководство по контролю качества питьевой воды (РККПВ) (второе издание). Том 1. Рекомендации Всемирной организации здравоохранения. — Женева, 1994. — 255 с.
2. ДСанПиН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною.
3. ДСТУ4283.2:2007» Соки та сокові продукти» — ГН 6.6.1-130» Державні гігієнічні нормативи Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді».
4. Нутриенты в питьевой воде. Отчет ВОЗ. — Женева, 2003. — 61 с.
5. *Куприянов А.В.* Система обеспечения качества и безопасности пищевой продукции // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2014. — С. 164—167.
6. *Прилуцкий И.И.* Электрохимическая активация воды: аномальные свойства, механизм биологического действия / И.И. Прилуцкий, В.М. Бахир. — Москва : ВНИИМТ. АО НПО» Экран», 1997. — 228с.
7. *Большак Ю.В.* Биологическая активность и закономерности формирования безреагентно модифицированной воды. — Киев : Книга плюс, 2015. — 200 с.
8. *Стрикаленко Т.В.* Гигиенические задачи производства бутилированных питьевых вод: вчера, сегодня, завтра // Вода і водоочисні технології. — 2009. — № 8—9. — С. 52—56.
9. *Леонов Б.И.* Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды / Б.И. Леонов, В.И. Прилуцкий, В.М. Бахир. — Москва : ВНИИМТ, 1999. — С. 244.
10. *Ластков Д.О.* Екотоксикологічні аспекти оцінки біологічної цінності питної води // Актуальні аспекти транспортної медицини. — 2011. — № 24(24).
11. *Савостикова О.Н.* Гигиеническая оценка влияния структурных изменений в воде на ее физико-химические и биологические свойства. Автореферат канд. дис. — Москва, 2008. — 18 с.
12. *Теленкова О.Г.* Гигиеническое обоснование условий, обеспечивающих стабильное структурное состояние воды. Автореферат канд. дис. НИИ Экологии человека и окружающей среды им. А.Н. Сысина — Москва, 2011. — 21 с.
13. *Воейков В.Л.* Фундаментальная роль воды в биоэнергетике. Сборник избранных трудов IV Международного конгресса» Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». — Москва, 2006. — С. 46—43.
14. *Спенглер О.А.* Слово о воде. — Ленинград : Гидрометеоздат, 1980. — 182 с.
15. *Lotts T.M.* Redox Shock. Water quality association. Annual Conventien and exhibition. March. 1994. Phoenix. Arisona. p. 20.
16. Патент РФ. Способ проращивания солода и способ выдержки солода / С.Э. Когубей, Никитин В.И., Устюгова Г.В., Устюгов В.В., Чувашев С.Н. — приоритет от 20.04.2005.

17. *Разумовская Р.Г.* Применение ЭХА-растворов в биотехнологии продуктов из рыбного и растительного сырья / Р.Г. Разумовская, А.И. Кассамединов, Тхи Хуе Као, Ванг Хынг Нгуен, О.В. Забродова. — Вестник АГТУ. — 2011. — № 1(51).

18. Исследование процесса релаксации показателя рН, динамической вязкости и плотности электроактивированной воды / А.А. Борисенко, Е.А. Шаманаева, А.М. Шишлов, А.А. Брацихин // Сб. науч. тр. СевКавГТУ. Сер.: Продовольствие. — 2002. — Вып. 5.

19. *Александрова Э.А.* Влияние электрохимически активированной воды на растительные экосистемы / Э.А. Александрова, Г.А. Шрамко, Б.Е. Красавцев. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [www.biophys.ru/archive/congress2012/proc—p128—d.pdf](http://www.biophys.ru/archive/congress2012/proc—p128—d.pdf).

20. *Рахманин Ю.А.* Дефицит электронов в окружающей среде как новый фактор риска для здоровья человека / А.А. Стехин, Г.В. Яковлева // Всероссийская научно-техническая конференция «Санитарно-эпидемиологическая безопасность населения Российской Федерации». — Москва, 2012. — С. 25—38.

21. *Дубровская Д.А.* Феномен бесконтактной активации от микрогидрина и при химических реакциях / Д.А. Дубровская, Р.Ф. Мулахметов // Сборник трудов ВНКСФ-8. — Екатеринбург, 2012. — С. 597—599.

22. Патент РФ. Способ обработки растительных пищевых продуктов / Здобников А.Е. — от 28.10.2008 г. Заявка 2008142627/15, 28.10.2008.

**SCIENTIFIC AND PRACTICAL APPROACHES TO DEVELOPMENT OF PRODUCTS FOR NUTRITIONAL SUPPORT FOR WOUNDED, INJURED AND PATIENTS IN EXTREMELY CONDITIONS OF WARFARE AND AT THE STAGES OF MEDICAL EVACUATION**

**N. Prytulska, I. Motuzka, M. Gulich, S. Aslanyan, D. Antiushko**  
*Kyiv National University of Trade and Economics*

---

<b>Key words:</b> <i>Nutritional support</i> <i>Food products</i> <i>Nutrition</i> <i>Raw material</i> <i>Medical evacuation</i> <i>Quality</i>	<b>ABSTRACT</b> Scientific and practical approaches to the process of products for the nutritional support creation of the wounded and injured and patients in extreme conditions and at the stages of medical evacuation were developed. The conceptual basis of the nutritional correction of these people category, which is based on the analysis of the specifics of the adaptive processes of the organism during wounds and injuries, was scientifically substantiated. Critical analysis of the raw material components of the products for the nutritional support was made. A series of products for the nutritional support of the wounded, injured and sick persons was developed, their consumer properties were investigated and their physiological efficiency was confirmed, directions of their introduction into the practice of domestic enterprises of the food industry were suggested.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

<b>Article history:</b> Received 19.09.2017 Received in revised form 03.10.2017 Accepted 22.10.2017	
<b>Corresponding author:</b> N. Prytulska <b>E-mail:</b> npnuht@ukr.net	

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-25

---

**НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБКИ ПРОДУКТІВ ДЛЯ НУТРИТИВНОЇ ПІДТРИМКИ ПОРАНЕНИХ, ПОСТРАЖДАЛИХ І ХВОРИХ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ ТА НА ЕТАПАХ МЕДИЧНОЇ ЕВАКУАЦІЇ**

**Н.В. Пригульська, Ю.М. Мотузка, М.П. Гуліч, С.А. Асланян, Д.П. Антюшко**  
*Київський національний торговельно-економічний університет*

*У статті розроблено науково-практичні підходи до створення продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах та на етапах медичної евакуації. Науково обґрунтовано концептуальні засади аліментарної корекції харчування даної категорії осіб на основі аналізу специфіки адаптаційних процесів організму при пораненнях і травмах, здійснено критичний аналіз сировинних компонентів продуктів для*



*нутритивної підтримки. Розроблено серію продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих, досліджено їх споживні властивості та підтверджено фізіологічну ефективність, запроповано напрями їх впровадження у практику вітчизняних підприємств харчової промисловості.*

**Ключові слова:** нутритивна підтримка, харчові продукти, харчування, сировина, медична евакуація, якість.

**Постановка проблеми.** Збереження здоров'я військовослужбовців є важливим державним завданням. Роль харчування є пріоритетною в підтримці боєздатності військ, формуванні стійкого соціально-психологічного клімату у військових частинах, профілактиці хвороб, викликаних особливостями військово-професійної діяльності, скороченні термінів лікування і реабілітації військовослужбовців у разі захворювань або поранень. Відповідно до положень Воєнної доктрини України, затвердженої Указом Президента України №555 від 02.09.2015, Концепції «Реформи системи продовольчого забезпечення та харчування військовослужбовців Збройних Сил України» здійснюються заходи щодо реформування та удосконалення системи всебічного забезпечення Збройних Сил України, зокрема удосконалення системи харчування військовослужбовців, що обумовлює забезпечення їх якісними харчовими продуктами для підтримання високого рівня працездатності, фізичної та психоемоційної витривалості та функціональних резервів організму.

Харчування поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах бойових дій та на етапах медичної евакуації повинно бути раціональним і збалансованим для забезпечення не тільки потреб їх організму у необхідних харчових речовинах і енергії, але й для підвищення захисних сил в умовах раневого запалення і можливої інфекції, а також прискорення загоєння ушкоджених тканин [1]. Повноцінне відновлення здоров'я неможливе без адекватної метаболічної підтримки, спрямованої на посилення регенераторної здатності ураженого органа, нормалізації процесів обміну речовин, підвищення імунобіологічних властивостей організму, що може бути досягнуто шляхом забезпечення належним харчуванням. Основне завдання харчування полягає у відновленні порушеної рівноваги організму шляхом пристосування хімічного складу харчових продуктів до метаболічних особливостей організму.

Харчування поранених і постраждалих є важливою складовою комплексної терапії, а при деяких захворюваннях і єдиним її видом. При організації харчування хворих і поранених військовослужбовців у добовому раціоні необхідним є забезпечення збалансованої адекватної нутритивної та енергетичної підтримки з урахуванням механізмів перебігу хвороби й травмування та метаболічних потреб хворого в процесі лікування і медичної реабілітації на основі існуючих нормативно-правових документів [2]. Ефективність харчування при тому чи іншому захворюванні визначається такими факторами, як кількісні та якісні пропорції продуктів харчування і поживних речовин, енергетична цінність раціону, фізичні властивості їжі, лікувальні якості окремих продуктів, режим харчування [3].

У сучасних умовах виникає гостра необхідність забезпечення військовослужбовців, які перебувають у медичних закладах, мобільних шпиталях, безпеч-

ними та якісними харчовими продуктами, нутрієнтний склад і споживні властивості яких адаптовані до особливих умов споживання. Це є завданням першочергової важливості, що обумовлено необхідністю збереження життя і здоров'я, найшвидшого відновлення боє- та дієздатності військових контингентів.

Існуючі порушення харчування, недостатність харчування поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах бойових дій та на етапах медичної евакуації і неадекватна корекція метаболічних порушень значною мірою знижують ефективність лікувальних заходів, збільшують ризик розвитку септичних та інфекційних ускладнень тощо.

Затребуваність продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих, хворих в останні роки помітно зростає, особливо враховуючи підвищений рівень захворюваності в Україні на неінфекційні хвороби, велику кількість травмованих через військові дії на сході країни. Представлені в Україні на вітчизняному ринку харчові продукти для нутритивної підтримки постраждалих і хворих — зарубіжного виробництва, до того ж вони наявні в дуже обмеженому асортименті й недоступні для переважної більшості цільової групи споживачів.

У контексті політики імпортозаміщення, а також враховуючи те, що розвиток виробництва вітчизняних продуктів для нутритивної підтримки поранених постраждалих і хворих є важливою соціальною проблемою, доцільним є створення в країні альтернативи імпортній продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Досвід багатьох країн світу свідчить, що послідовна комплексна державна політика в галузі харчування, спрямована на забезпечення всіх груп населення повноцінним, раціональним харчуванням, дає позитивні результати у зниженні рівня захворюваності і поліпшенні показників здоров'я населення. Значний внесок у розробку та вдосконалення наукових принципів забезпечення нутритивних потреб людей із специфічними захворюваннями, що супроводжуються гіперметаболізмом, основ створення та вдосконалення харчових продуктів для поранених, постраждалих і хворих зробили вітчизняні та зарубіжні вчені A.W. Wilkinson, D. Wilmore, I. Mayers, K. Barendgret, F.D. Moore, C. Ortega, M.H. DeLegge, D. Royall, S. DeMichele, G.R. Greenberg, A.B. Беляєв, І.С. Хорошилов, М.С. Маршак, О.М. Почепень, А.С. Боткіна та ін.

**Метою дослідження** є розробка науково-практичних підходів до створення продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах та на етапах медичної евакуації.

**Викладення основного матеріалу.** Повноцінне харчування є основою життєдіяльності організму людей, визначає можливість переносити фізичні та психоемоційні навантаження. Науково встановлено, що у поранених, постраждалих і хворих військовослужбовців в умовах надзвичайних ситуацій внаслідок дії стресу та фізіологічних змін значно прискорюється обмін речовин. Для метаболічної відповіді на агресію будь-якої етіології (травма, поранення, крововтрата, опіки, хірургічне втручання) характерним є розвиток неспецифічної реакції гіперметаболізму, гіперкатаболізму з комплексним порушенням обміну білків, вуглеводів, ліпідів. Так, через значне зростання метаболічної активності організму спостерігається підвищення білково-енер-

гетичних потреб, що обумовлює білково-енергетичну недостатність. Оптимальний стан забезпечення потреб у нутрієнтах значною мірою визначає здатність постраждалих і хворих краще переносити підвищені навантаження, хвороби й критичні стани, долати їх із меншими втратами для здоров'я та більш повною й швидшою реабілітацією [4].

Суттєве значення в прогресуванні харчової недостатності має і стан пораненого та хворого — зниження апетиту, порушення свідомості, диспепсичні розлади, що призводять до зменшення фактичного споживання їжі або повної відмови від її вживання [5]. Крім того, після оперативних втручань, травм, особливо при наявності пошкоджень або функціональній недостатності шлунково-кишкового тракту, хворий не тільки не може або не хоче, але і не повинен приймати звичайну їжу.

Науковим підґрунтям для розробки сучасних принципів харчування травмованих і хворих осіб є фундаментальні положення про специфіку метаболічних потреб організму у цих станах, розроблені М.І. Певзнером та D. Cuthbertson. Особливої уваги заслуговує факт, що першочергового значення при забезпеченні харчового раціону людей із пораненнями та травмами набуває дотримання основоположних принципів теорій збалансованого й адекватного харчування, розроблених О.О. Покровським та О.М. Уголевим.

Згідно з цією концепцією, що розроблена на основі концепцій диференційованого, направленого (цільового) та індивідуального забезпечення поживними речовинами, потреби постраждалих для відновлення організму значною мірою залежать від багатьох факторів: виду та ступеня важкості захворювання, конституції тіла, віку, статі, енерговитрат, рівня нервово-психічних навантажень тощо.

Головним метаболічним субстратом для поранених, постраждалих і хворих військовослужбовців є вуглеводи. Їх розщеплення може відбуватися з виділенням енергії за відсутності кисню (гліколіз). Найкращим субстратом для задоволення потреб постраждалих у вуглеводах є глюкоза як вихідний нутрієнт гліколізу. Через порушення обміну та перерозподілу протеїнів у організмі особливе значення в раціоні постраждалих приділяється білковому обміну, показником якого є азотистий баланс (різниця між кількостями азоту, що потрапляє до організму з білками й амінокислотами та виводиться з нього різними шляхами). Виходячи із енергетичної цінності ліпідів (9,3 ккал/г), вони вважаються найбільш вигідним джерелом енергії. Одним із головних процесів, що відбуваються в організмі поранених і хворих, є ліполіз, при якому з ліпідів утворюються жирні кислоти та гліцерол. Жирні кислоти є основним енергетичним донатором для м'язів і печінки, сприяють прискоренню нейтралізації печінкою мікробних клітин; гліцерол — одним із ключових субстратів для глюконеогенеза [6]. Численними дослідженнями встановлено, що для оптимізації білкового, вуглеводного, ліпідного обмінів, зниження активності больового синдрому та процесу вільнорадикального окиснення в тканинах і органах, підвищення рівня тканинного дихання вагомим значення набуває обмін вітамінів — тіаміну, рибофлавіну, піридоксину, токоферолу [7]. Істотним чинником, що впливає на процес лікування та реабілітацію травмованих і хворих, є забезпечення організму мінеральними елементами. Так,

згідно із рекомендаціями спеціалістів, особливо необхідним є підвищене забезпечення мікроелементами, зокрема ферумом, манганом, купрумом, цинком, селеном, хромом, молібденом, йодом. Багатьма вченими відмічено, що раціонально спланована стратегія насичення організму постраждалих рідиною дає змогу покращувати терморегуляційну здатність тіла. Оптимальна кількість прийому рідини, збагаченої електролітами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  та глюкозою, становить 1,5—2,5 л/добу. Встановлено, що вживання сумішей у рідкому стані, збагачених всіма необхідними макро- і мікронутрієнтами, є найкращим способом забезпечення належної нутритивної підтримки [8].

Сучасні динамічні темпи наукових досліджень у галузі нутриціології та медицини, що підкріплюються стрімким розвитком виробничих можливостей, обумовлюють поширення практики виробництва спеціальних продуктів для нутритивної підтримки цілеспрямованої дії на організм людини. Це обумовлює необхідність пошуку та використання високоякісної сировини для їх виробництва, що буде відповідати всезростаючим запитам споживачів щодо харчової та біологічної цінності продуктів.

Науково обґрунтовані концептуальні підходи до створення харчових продуктів для поранених, постраждалих і хворих військовослужбовців, дали змогу здійснити підбір їх компонентного складу. На основі проведеного цілеспрямованого підбору сировинних компонентів для виробництва продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих військовослужбовців встановлено, що перспективною до використання є така сировина: очищена та підготовлена вода; глюкоза, фруктоза, цукрозамінники; омега-3, омега-6, омега-9 жирні кислоти, рослинні порошки й екстракти; білки, пептиди, амінокислоти та їх концентрати. Для підвищення біологічної цінності до складу цього виду продукції вносяться харчові волокна, вітаміни та мінеральні речовини, а також премікси, що їх містять.

Основною сировиною, що використовується при виробництві продуктів для нутритивної підтримки організму людини, є вуглеводи. Серед них найбільш широкого використання набула глюкоза. Це пояснюється тим, що вона є вузловим енергетичним субстратом при стрес-реакції та єдиним енергетичним субстратом, що забезпечує живлення клітин і тканин для їх відновлення [9]. Крім того, цей вуглевод підсилює окисно-відновні процеси, поліпшує антитоксичну функцію печінки, стимулює скорочувальну здатність міокарду та запобігає надлишковим втратам води організмом. У той же час необхідно зазначити, що засвоюваність глюкози у критичному стані залежить від адекватності перфузії (кровотоку), здатності до її утилізації клітинами (інсулінорезистентності).

Фруктоза засвоюється організмом після перетворення в глюкозу, через що вважається відтермінованим джерелом енергії. Крім того, фруктоза не поглинається інсулін-залежними тканинами, стабілізує рівень цукру в крові, що обумовлює можливість її використання у продуктах для нутритивної підтримки організму людей, які страждають на цукровий діабет.

Обов'язковою умовою, що ставиться перед білковою складовою продуктів, є вміст усіх незамінних амінокислот. З метою забезпечення білкових потреб використовуються білкові концентрати (як тваринного, так і рослин-

ного походження), ізоляти, пептиди, амінокислоти та їх суміші. Головною метою їх використання є забезпечення швидкого відновлення білкових втрат під дією глюконеогенеза та створення сприятливих умов для метаболічних процесів енергетичного та пластичного обміну організму. Необхідно зауважити, що головними критеріями вибору сировини для забезпечення білкової складової продуктів для нутритивної підтримки є її біологічна цінність, висока розчинність, здатність стабілізувати дисперсні системи. Зважаючи на це, при виробництві продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих військовослужбовців доцільним є застосування концентратів білкових молочної сироватки, що характеризуються високим вмістом білку, вітамінів (ретинолу, аскорбінової кислоти, тіаміну, рибофлавіну, ніацину, пантотенової кислоти, піридоксину, цианкобаламіну) мінеральних елементів (кальцію, натрію, калію та інших).

Використання у складі продуктів для нутритивної підтримки омега-3 та омега-6 поліненасичених жирних кислот зумовлено необхідністю оптимізації ліпідного обміну [10; 11]. У сучасній практиці виробництва даної групи продуктів продуктів в основному використовуються омега-3 і омега-6 незамінні жирні кислоти рослинного походження, що обумовлено їх більш високими органолептичними властивостями порівняно з аналогічними тваринного походження. Відомо, що додатковими перевагами їх використання у продуктах для нутритивної підтримки людей із соматичними захворюваннями й травмами є відновлення та росту м'язової тканини, покращення реологічних властивостей крові за рахунок зниження її в'язкості.

Також при виробництві продуктів для нутритивної підтримки доцільним є використання лецитину, який сприяє транспортуванню поживних речовин із крові до клітин, покращує кровообіг шляхом виведення надлишку холестерину, сприяє відновленню імунітету. Натуральні харчові волокна мають пребіотичні властивості та здатність сприятливо впливати на шлунково-кишковий тракт завдяки абсорбції жовчних кислот, холестерину. Це зумовлює їх гіпотетичне використання у складі даної групи продуктів [12].

Важливим фактором, що обумовлює біологічну цінність харчових продуктів для людей із пораненнями й травмами, є їхня вітамінно-мінеральна цінність [13; 14]. Для задоволення метаболічних потреб цих споживачів у мікронутрієнтах у продукти для нутритивної підтримки найчастіше ціленаправлено вносяться окремі штучно синтезовані вітаміни, їх комплекси, вітамінні, вітамінно-мінеральні та мінеральні премікси, мінеральні солі високого ступеня очищення. Значна увага у цьому процесі приділяється мікронутрієнтам, що характеризуються антиоксидантними властивостями. Зокрема, найбільш часто при виробництві продуктів для нутритивної підтримки людей із соматичними захворюваннями й травмами використовуються вітаміни ретинол, аскорбінова кислота, кальциферол, токоферол, філохінон, тіамін, рибофлавін, ніацин, пантотенова кислота, піридоксин, цианкобаламін; мінеральні солі, що призначені для забезпечення потреб у натрії, калії, кальції, магнії, ферумі, купрум, цинку, мангані, хлорі, фосфорі, йоді [15].

Необхідно відмітити ще одну групу сировинних компонентів для виробництва досліджуваної групи товарів — рослинні екстракти та порошки.

Найбільш широко використовуються екстракти зеленого чаю, шипшини, ромашки, лимона, гарбуза, шавлії тощо. Подібне збагачення продуктів пояснюється їх властивостями — протизапальними, загоювальними, тонізуючими, підвищеною антиоксидантною здатністю. Окрім цього, у сучасній практиці виробництва спеціальних продуктів застосовується екстракт рослини *Tribulus Terrestris*, що містить переважно стероїдні сапоніни фуростанолового типу, серед яких переважає протодіосцин, що метаболізується в організмі людини до дегідроепіандростерона. Науково доведено, що ця речовина значно сприяє прискоренню м'язового росту, активізації білкового обміну, підвищенню рівня проникності клітинних мембран й імунітету; покращенню метаболізму холестерину.

Останні роки продукти для нутритивної підтримки поранених постраждалих і хворих в екстремальних умовах та на етапах медичної евакуації привертають до себе все більше уваги. Їх переваги - фізіологічність, низький рівень ускладнень, простота доставки нутрієнтів і низька вартість. У рамках виконання досліджень розроблено продукти для нутритивної підтримки на основі сучасних наукових досліджень з урахуванням принципів збалансованості нутрієнтного складу та відповідності потребам людей в екстремальних умовах надзвичайних ситуацій. Продукти розроблено зусиллями фахівців Київського національного торговельно-економічного університету, Національної академії медичних наук, Української військово-медичної академії.

Продукти розроблені з використанням доступних вітчизняних сировинних компонентів та з урахуванням специфіки етапів лікування і відновлення організму.

Зокрема, розроблено такі сухі розчинні продукти для нутритивної підтримки поранених постраждалих і хворих:

- Продукт, призначений для хворих у критичних станах (з харчовою недостатністю, опіками, сепсисом, множинними травмами), ускладненнях післяопераційного періоду, травмах, для використання в інтенсивній терапії, до- та післяопераційні періоди.

- Продукт, призначений для хворих з порушеною толерантністю до глюкози - хворі на діабет 1 і 2 типу, при непереносимості глюкози, як добавка при коригуючій терапії гіперглікемії в перервах між їжею, при захворюваннях шлунково-кишкового тракту.

- Продукт, призначений для хворих при порушеннях функції нирок (гостра та хронічна ниркова недостатність, діалізна терапія).

- Продукт, призначений для хворих з онкологічними захворюваннями.

Також проведено роботу щодо розробки продуктів в інших формах (драгелеподібні продукти, пудинги), які можна використовувати в більш віддаленому реабілітаційному періоді.

На основі узагальнених підходів до розробки продуктів для поранених, травмованих та осіб, що перебувають в мобільних шпиталях і медичних закладах, розроблені продукти для їх нутритивної підтримки у вигляді сухих розчинних сумішей, драгелеподібних продуктів, сухих сумішей для виготовлення пудингів (ТУ У 10.8-01566117-007:2015 «Продукти для спеціальних медичних цілей — харчування ентеральне») й отримані патенти на корисну

модель [16—27]. Продукти розроблені з використанням доступних вітчизняних сировинних компонентів та з урахуванням специфіки етапів лікування і відновлення організму.

Проведені комплексні дослідження споживних властивостей продуктів і визначено динаміку їх змін при зберіганні. Встановлено, що продукти забезпечують добову потребу організму в основних поживних речовинах, енергії, мінеральних речовинах, вітамінах. Рекомендовані як додаткове харчування та при потребі можуть використовуватися як єдине джерело поживних речовин і енергії. Використовуються у вигляді напою, добавки до їжі, мають гарні смакові властивості.

Ефективність споживання продуктів доведена в умовах клінічних баз Української військово-медичної академії.

### Висновки

Застосування харчових продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах бойових дій та на етапах медичної евакуації сприятиме корекції метаболічних порушень, покращенню адаптації та витривалості. Нині розвиток виробництва вітчизняних продуктів для нутритивної підтримки травмованих та хворих осіб є важливою соціальною проблемою, тому необхідними для її розв'язання є державна підтримка для якнайшвидшої реалізації і впровадження в практичну діяльність гарантовано безпечних та якісних продуктів. Дієве вирішення цих проблем може забезпечити затвердження та реалізація Державної цільової соціальної програми розвитку виробництва продуктів для спеціальних медичних цілей.

### Література

1. Нутритивная поддержка в отделении реанимации и интенсивной терапии. Стандартные алгоритмы и протоколы: Учебно-методическое пособие для врачей, клинических ординаторов, врачей интернов. — Москва, 2010. — 36 с.
2. Новицкий А.А. Влияние лечебного комплекса, основанного на коррекции проявлений синдрома хронического эколого-профессионального перенапряжения на состояние иммунной системы у раненых с взрывными поражениями / А.А. Новицкий, П.П. Лихущин, В.Р. Грицингер, О.Н. Успенская // Тр. В.Мед.А. — Санкт-Петербург, 1993. — Т. 235. — С. 108—117.
3. Kondrup J. ESPEN guidelines for nutrition screening / J. Kondrup, S. Allison, M. Elia // *Clinical Nutrition*. — 2003. — # 22. — P. 415—423.
4. Hidenari S. Nutritional requirements of military personnel / S. Hidenari // *National defense medical journal*. 2007. — Vol. 54, # 1. — P. 1—10.
5. Macola D. Elemental and semi—elemental formulas: are they superior to polymeric formulas/ D. Macola // *Nutrition issues in gastroenterology*. — 2005. — # 34. — P. 59—72.
6. Tharion W.J. Energy requirements of military personnel / W.J. Tharion et al. // *Appetite*, 2005. — P. 47—65.
7. Akbaylar H. 2012. Basic principles of enteral feeding. *Turk Gastroenterology*, vol. 13(4). — P. 186—191.
8. AKE Recommendation: Enteral and Parenteral Support in Adults. 2000. Germany, 92 p.
9. Bilsborough S. 2006 A review of issues of dietary protein intake in human. *Int J. Sport Nutr Exerc Metab*. — Vol 16(2). — P. 129—152.
10. Военная гигиена в условиях локальных войн / Под ред. С.А. Лопатина, М.В. Неженцева и В.Т. Найды. — Санкт-Петербург : СПбПМИД, 1995. — 338 с.

11. Певзнер М.И. Основы лечебного питания / М.И. Певзнер. — Мjсrdf : гос. Изд-во лит-ры, 1949. — 570 с.
12. Протокол нутритивной поддержки критических состояний. — 2014 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.kuzbassanest.h15.ru/nutri.html>.
13. Kohler M. Clinical nutrition. Product Segments. 2014. Available at: — Way of access [http://www.fresenius.de/documents/04\\_CMD\\_2012\\_Clinical\\_Nutrition.pdf](http://www.fresenius.de/documents/04_CMD_2012_Clinical_Nutrition.pdf) (accessed: 05.01.2014).
14. Grasdalen P. The factors of enteral nutrition / P. Grasdalen // Crit. Care Med. — 2011. — Vol. 6. — P. 142—157.
15. Луфт В.М. Клиническое питание в интенсивной медицине / В.М. Луфт, А.Л. Костюченко. — Санкт-Петербург : Диля, 2002. — 174 с.
16. Патент України №109971, А61К 31/00. «Суміш суха для ентерального харчування хворих з онкологічними захворюваннями» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т.
17. Патент України №108993, А61К 31/00. «Суміш суха для ентерального харчування хворих в критичних станах » / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2016.
18. Патент України №.109970 , А61К 31/00. «Суміш суха для ентерального харчування хворих з нирковою недостатністю» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2016.
19. Патент України №.109972, А61К 31/00. «Суміш суха для ентерального харчування людей з порушеною толерантністю до глюкози» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2016.
20. Патент України №115783, А61К 31/00. «Драгледоподібний харчовий продукт для ентерального харчування хворих з онкологічними захворюваннями» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017
21. Патент України №115781, А61К 31/00. «Драгледоподібний харчовий продукт для для ентерального харчування хворих в критичних станах » / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.
22. Патент України №.115784, А61К 31/00. «Драгледоподібний харчовий продукт для для ентерального харчування хворих з нирковою недостатністю» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.
23. Патент України №.115782, А61К 31/00. «Драгледоподібний харчовий продукт для ентерального харчування людей з порушеною толерантністю до глюкози» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.
24. Патент України №117351, А61К 31/00. «Композиція для виготовлення пудингу для ентерального харчування хворих з онкологічними захворюваннями»/Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.
25. Патент України №118074, А61К 31/00. «Композиція для виготовлення пудингу для ентерального харчування хворих в критичних станах » / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.
26. Патент України №.118075 , А61К 31/00. «Композиція для виготовлення пудингу для ентерального харчування хворих з нирковою недостатністю» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.
27. Патент України №.117352, А61К 31/00. «Композиція для виготовлення пудингу для ентерального харчування людей з порушеною толерантністю до глюкози» / Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Асланян С.А. та ін.; заявник та патентовласник Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2017.



## TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF EMMER AND SPELTA GRAIN AND PERSPECTIVES OF THEIR USING FOR FOOD PRODUCTION

B. Iegorov, D. Zhygunov, M. Mardar, R. Znachek, G. Zhyhunova  
*Odessa National Academy of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Wheat*  
*Spelta*  
*Food products*  
*Chemical composition*  
*Flour*  
*Cereals*  
*Flakes*

---

**Article history:**

Received 14.09.2017  
Received in revised form  
04.10.2017  
Accepted 25.10.2017

---

**Corresponding author:**

D. Zhygunov  
**E-mail:**  
tpz.onaft@gmail.com

---

**ABSTRACT**

The article presents the chemical composition and technological properties of hulled wheats — emmer and spelt. It was shown that emmer and spelt in comparison with origin hard wheat variety Kuyalnik contains on 2.96—6.37% less carbohydrates content, on 2.33—5.93% more protein content and on 0.08—0.62% more fats content. The most important technological indicator that affects of finished products yield is the hulls content of the grain that is 22—26%, and bulk density of grain is 422—430 g/l, which is on 1.7—1.8 times less than the hull-less grain. The 1000-grain weight of hulled wheat grain with removed hulls is 5—7 g less than in variety of Kuyalnik. It was established that according to the indicator of hardness only variety Zorya of Ukraine belongs to semi-hard or soft wheat; other samples that was studied belong to hard wheat varieties. Based on the analysis of technological properties were made recommendations to the directions of their further grain processing to food products.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-26

---

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ПОЛБИ ТА СПЕЛЬТИ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Б.В. Єгоров, Д.О. Жигунов, М.Р. Мардар, Р.Р. Значек, Г.Д. Жигунова  
*Одеська національна академія харчових технологій*

*У статті наведено хімічний склад і технологічні властивості плівчастих пшениць — полби та спельти. Показано, що зерно полби та спельти порівняно зі звичайною м'якою твердозерною пшеницею сорту Куяльник містить на 2,96—6,37% менше вуглеводів, на 2,33—5,93% більше білка, на 0,08—0,62% більше жирів. Важливий технологічний показник, який впливає на вихід готової продукції, — плівчастість зерна складає 22—26%, а показник натурності необрушеного зерна — 422—430 г/л, що в 1,7—1,8 рази менше, ніж в обрушеному зерні. Маса 1000 зерен обрушеного зерна плівчастих пшениць на 5—7 г менша, ніж у сорті Куяльник. Встановлено, що за показником твердо-зерності тільки сорт спельти Зоря України відноситься до напівтвердозер-*

ної або м'якозерної пшениці, інші досліджені зразки відносяться до твердозерних сортів. На підставі аналізу технологічних властивостей зроблено рекомендації щодо напрямів їх подальшої переробки на харчові продукти.

**Ключові слова:** пшениця, спельта, харчові продукти, хімічний склад, борошно, крупи, пластівці.

**Постановка проблеми.** Здоров'я населення завжди займає одне з перших місць у системі життєвих цінностей будь-якої держави. Збереження суспільного здоров'я і зниження захворюваності — найважливіші соціально-економічні завдання, що стоять перед нею, оскільки негативні демографічні тенденції створюють реальні і потенційні загрози сталому розвитку суспільства не тільки на сучасному етапі, а й у перспективі. Особливо гостро ця проблема стоїть сьогодні перед Україною. У 2012 р. Україна зайняла 99 місце із 145 у рейтингу країн за станом здоров'я їх населення, підготовленим агенцією Bloomberg. Нашій державі також притаманний найнижчий абсолютний показник загального здоров'я населення (32,27%), що є в двічі нижчим від показника сусіда першого порядку України — Польщі (67,13%), та в тричі нижчим від показника держави-зразка — Італії (94,61%) [1; 2].

Доведено, що приблизно на 50% здоров'я людини визначає спосіб життя [3]. Негативними його чинниками є шкідливі звички, незбалансоване, неправильне харчування, несприятливі умови роботи, моральні та психічні навантаження, малорухливий спосіб життя, погані матеріально-побутові умови, незгода в сім'ї, самотність, низький освітній і культурний рівень тощо. Негативно позначається на формуванні здоров'я і несприятлива екологічна обстановка, зокрема забруднення повітря, води, ґрунту, а також складні природно-кліматичні умови (внесок цих чинників — до 20%). Важливе значення має стан генетичного фонду популяції, схильність до спадкових хвороб. Це ще близько 20%, які визначають сучасний рівень здоров'я населення. На охорону здоров'я припадає 10% «внеску» в той рівень здоров'я населення, яке ми маємо на сьогодні [3].

Таким чином, неповноцінне харчування, недостатня кількість білків, вітамінів, мінеральних елементів та інших біологічно активних речовин, наявність алергенних речовин може служити етіологічним фактором аліментарних розладів і фактором ризику інтоксикацій важкими металами або радіаційного ураження осіб, які стикаються з ними. Негативно позначається на формуванні здоров'я і несприятлива екологічна обстановка, зокрема забруднення повітря, води, ґрунту, а також складні природно-кліматичні умови.

З давніх-давен особливе місце в харчуванні по праву займали і займають різні харчові продукти, вироблені з зерна. Це обумовлено їх відносною дешевизною, здатністю в певних умовах до тривалого зберігання без істотної зміни їх властивостей і харчової цінності, високою транспортабельністю. Все це історично визначило значення і місце зерна й продуктів його переробки в харчуванні — вони стали продуктами масового і повсякденного вжитку людини. Величезне значення зернових культур визначається тим, що продукти, вироблені на основі зерна (хліб, крупа, макарони та ін.) служать основою

харчування людини. Безпосередньо за рахунок продуктів переробки зерна забезпечується близько 40% загальної калорійності харчування, майже 50% потреби в білках, 60% потреби у вуглеводах [4].

Традиційно серед зернових перше місце у використанні для харчових продуктів посідає пшениця, що передусім обумовлено її хлібопекарськими та макаронними властивостями. Але сучасні сорти пшениці характеризуються відносно низькою біологічною цінністю, особливо вмістом біологічно активних речовин, яких у традиційних зернових продуктах недостатньо. У той же час вже сьогодні значна частина представників світової харчової індустрії стратегічно орієнтовані на виробництво продуктів харчування на основі історично відомих типів і сортів півчастих (полб'яних) пшениць — полби та спельти. При цьому асортимент вітчизняних продуктів харчування на основі даної сировини мінімальний і потребує розширення та оптимізації.

Полба та спельта — це злаки, що сьогодні рідко вирощуються, хоча ще сто-двісті років тому використовувалися досить широко, спельта — переважно для приготування хліба, а полба — для приготування каш і супів. Ці злаки дуже невибагливі, не вимагають внесення хімічних добрив і гербіцидів, інакше знижується їх врожайність, тобто обробіток таких культур належить до органічного землеробства, але порівняно з пшеницею набагато менш урожайні, особливо полба. Полба досить холодостійка рослина, а спельта — набагато більш теплолюбний злак. Вона культивувалася ще в період Середньовіччя і вирощується в наш час у південній і частково середній Європі [5].

Головними перевагами полби та спельти є більший вміст білка, амінокислот, вітамінів і мінеральних елементів. У клейковинному білку спельти та полби порівняно з традиційною пшеницею більше гліадину і менше глютеніну, тому клейковина, яку вони утворюють, м'яка і менш пружна, але завдяки цьому краще перетравлюється людиною. Тобто вживання цих злаків для здоров'я та імунітету приносить набагато більшу користь, ніж вживання виробів на основі пшеничного борошна, крім того, їх білок вміщує набагато менше алергенних компонентів. Саме тому різні кулінарні вироби та випічка хліба з полби та спельти увійшли в Європі за останні 15—20 років у велику моду і в ресторанній, і домашній кухні, а продукти із полби та спельти використовуються як гіпоалергенні, оздоровчі та дієтичні продукти як у повсякденному харчуванні, так і в лікувальних установах [6].

**Мета дослідження:** обґрунтувати напрями подальшої переробки пшениці спельти та полби на підставі порівняння їх фізико-технологічних, борошно-мельно-круп'яних показників і хімічного складу із звичайною м'якою твердою пшеницею.

**Матеріали і методи.** Предметом досліджень були обрані чотири зразки пшениці врожаю 2016 р.: 1-й зразок — звичайна пшениця м'яка червона твердозерна сорту Куяльник; 2-й — спельта німецького походження, вирощена в Одеській області; 3-й — спельта сорту Зоря України; 4-й — полба, вирощена в Чернігівській області.

Для дослідження хімічного складу (вміст білка, жиру, золи) й технологічних показників (півчастість, натура, маса 1000 зерен, склоподібність, число падіння, кількість та якість клейковини) використовували стандартні методи-

ки. Седиментацію визначали за методом Пумпянського [7] в оцтовій кислоті, твердозерність за Брабендером — здрібненням наважки 6 г зерна на установці Brabender Automatic Micro Hardness Tester згідно з [8], твердозерність за PSI — за методом ААСС 55-30.01.

**Результати і обговорення.** Зерно пшениці, як і інших зернових культур, вміщує макронутрієнти: вуглеводи, білки, жири, мінеральні речовини, а також мікронутрієнти: вітаміни, пігменти, ферменти та інші речовини [9]. Її хімічний склад змінюється залежно від виду, сорту, зовнішніх умов вирощування, ґрунту.

Вуглеводи в раціоні харчування забезпечують до 40—75% загальної енергії, тобто є головним енергетичним компонентом харчування. Зазвичай, вони класифікуються залежно від ступеня полімеризації на: цукри, олігосахариди і полісахариди. Як для звичайної пшениці, так і для полби та спельти, вуглеводи є основним компонентом (59—71%) пшеничного зерна [10], хоча їх співвідношення дещо різняться [11—13]. Основний «запасний» вуглевод — це крохмаль (61—68%), в той час як масова частка цебрів становить 2—3%, а харчових волокон — 9—12%. У досліджених зразках пшениці спельти та полби (табл. 1) вміст вуглеводів складає 78,32—81,73 та 81,3% відповідно, що на 2,96—6,37% менше, ніж у зразку звичайної пшениці сорту Куяльник.

Білки за їх вмістом в зерні займають друге місце серед макронутрієнтів. У харчуванні вони є джерелом енергії і есенціальних амінокислот, при цьому відіграють найважливішу роль у процесі тістоведення, визначаючи структуру хлібопекарських виробів. У звичайній і плівчастій пшениці вони представлені різними фракціями: альбумінами і глобулінами (більш повноцінними з біологічної точки зору), а також гліадінами і глютенінами, які утворюють клейковину, визначаючи високі хлібопекарські властивості, але, на жаль, знижують перетравність білків у шлунково-кишковому тракті.

*Таблиця 1. Хімічний склад макронутрієнтів досліджуваних зразків пшениці, % на с. р.*

Зразок	Сорт пшениці	Вуглеводи та харчові волокна	Білки	Жири	Зола
1	Звичайна пшениця сорту Куяльник	84,69	11,89	1,92	1,50
2	Спельта Зоря України	78,32	17,82	2,27	1,59
3	Спельта німецького походження	81,73	14,22	2,54	1,51
4	Полба	81,30	15,10	2,00	1,60

Для забезпечення задовільних хлібопекарських властивостей масова частка білка повинна бути не менше 11,5—12,0%, що і підтверджується для контрольного зразка хлібопекарської пшениці сорту Куяльник (11,89%). У зерні спельти та полби (табл. 1) масова частка білка 14,22—17,82% та 15,10% відповідно, що значно перевищує м'яку пшеницю — на 2,33—5,93% і 3,21% відповідно. Найбільша масова частка білка у сорту спельти німецького походження, який вирощений в Одеській області на полях селекційно-генетичного інституту.

Жири — найменші за кількістю макронутрієнти зерна, містяться в кількості 2—3%. У цілому зерні вони представлені на 70% неполярними ліпідами, на

20% гліколіпідами і на 10% фосфоліпідами [14]. В досліджуваних зразках спельти (табл. 1) масова частка жирів складає 2,27—2,54%, полби — 2,00%, хлібопекарської пшениці — 1,92%.

Масову частку мінеральних речовин визначають за показником зольності, який в усіх зразках досліджуваної пшениці досить низький — 1,50—1,60%, що пояснюється, по-перше, виснаженням сільськогосподарських земель, по-друге, інтенсивними способами вирощування і високою врожайністю для хлібопекарських пшениць, а для плівчастих пшениць — органічним способом землеробства при їх вирощуванні.

Таким чином, за хімічним складом зерно спельти та полби з точки зору «здорового харчування» перевищує зерно звичайної пшениці насамперед за більшою масовою часткою білка і меншою енергетичною цінністю.

У товарному виробництві для визначення ринкової ціни сировини (пшениці) важливу роль відіграють її технологічні властивості. Для плівчастих зернових культур (наприклад, для ячменю), які перероблюються на круп'яні продукти, головним технологічним показником є плівчастість зерна. Від кількості плівок залежить натура зерна (табл. 2), вміст «корисної для переробки» зернівки, тобто вихід готової продукції та лузги. Серед досліджених зразків найменша плівчастість (22%) була у твердозерному зразку спельти німецького походження, що робить його більш перспективним для переробки, найбільша (26%) — у спельті сорту Зоря України.

*Таблиця 2. Фізико-технологічні показники досліджуваних зразків пшениці*

Зразок	Сорт пшениці	Плівчастість, %	Натура необрушеного зерна, г/л	Натура обрнушеного зерна, г/л	Маса 1000 зерен обрнушеного зерна, г
1	Звичайна пшениця сорту Куяльник	—	—	799	41
2	Спельта Зоря України	22	426	778	46
3	Спельта німецького походження	26	422	784	48
4	Полба	23	430	775	47

За показником натури необрушене зерно в 1,7—1,8 раза поступалося обрнушеному, або лушеному зерну — 422—430 проти 775—784 г/л, тобто для зберігання й транспортування такого зерна потребується більша ємність бункерів і транспорту. Тому вважається доцільним розроблення технологічного (них) засобу (-бів) обрнушення для післязбиральної обробки плівчастої пшениці, але треба мати на увазі, що ці пшениці мають меншу товщину плодкових і насінневих оболонок і можуть травмуватися при сушінні, транспортуванні і більше піддаватися мікробіологічній контамінації. Незважаючи на меншу натуру, плівчасті пшениці мали більшу на 5—7 г масу 1000 зерен, що обумовлюється їх більш зморшкуватою поверхнею.

Для переробки зерна в муку, вибору режимів підготовки, здрібнення, лушення та плющення важливим показником є твердість (твердозерність зерна). Серед досліджених зразків (табл. 3) тільки зразок спельти Зоря України (зразок 3) можливо віднести до напівтвердозерної або м'якозерної пшениці. Таке

зерно доцільно використовувати для виробництва пластівців або для виробництва цільнозмеленого борошна. Інші зразки, в тому числі звичайна пшениця, відносяться до твердозерних сортів, тобто при їх переробці отримується більша кількість круподунових продуктів, вони важче розмелюються, луцяться, тому їх доцільно використовувати для виробництва борошна, а також для виробництва цілої або дробленої крупи.

*Таблиця 3. Борошномельно-круп'яні показники досліджуваних зразків пшениці*

Зразок	Сорт пшениці	Вологість, %	Склоподібність, %	Твердозерність за Брабендером, с	Твердозерність за PSI, %
1	Звичайна пшениця сорту Куяльник	12,8	54	23	13,0
2	Спельта Зоря України	13,0	58	22	10,9
3	Спельта німецького походження	13,0	42	103	17,2
4	Полба	13,2	62	20	7,2

За фізико-хімічними показниками різні види і сорти пшениць досліджували за найважливішими показниками, які характеризують хлібопекарську якість зерна. З наведених даних (табл. 4) видно, що зерно спельти та полби має високі значення кількості клейковини (35—39%), але ця клейковина відноситься до слабкої за якість — показник ІДК більше 95 од. Показник седиментації в оцтовій кислоті не перевищує 20 мл, що характерно для слабкої за хлібопекарською силою пшениці.

*Таблиця 4. Фізико-хімічні показники досліджуваних зразків пшениці*

Зразок	Сорт пшениці	Число падіння, с	Кількість клейковини, %	Якість клейковини, ІДК	Седиментація, мл
1	Звичайна пшениця сорту Куяльник	246	24	65 (I)	33
2	Спельта Зоря України	120	39	97 (II)	19
3	Спельта німецького походження	63	36	95 (II)	16
4	Полба	64	35	95 (II)	16

При випіканні хліб з такого зерна буде мати невисокий об'єм (тісто буде розпливатися). Це ще обумовлено фракційним складом білків і більшим співвідношенням менш молекулярних гліадінів до більш високомолекулярних глютенінів. Але в сучасних умовах, коли хлібопекарські сорти пшениць, що вирощуються в Україні, мають занадто пружну клейковину (показник ІДК менш 60 од.), спельту або полбу можливо використовувати у суміші в помельній партії і при певному співвідношенні це призведе до поліпшення як хлібопекарських властивостей борошна, так і його хімічного складу.

### **Висновки**

1. Обрушене зерно півчастих пшениць порівняно зі звичайною пшеницею має кращий склад хімічних речовин: у досліджених зразках зерна спельти і

полби вміст вуглеводів складає 78,32—81,73%, що менше, ніж у звичайної м'якої пшениці на 2,96—6,37%; вміст білка та жирів складає 14,22—17,82 та 2,00—2,54% відповідно, що перевищує звичайну м'яку пшеницю на 2,33—5,93 на 0,08—0,62% відповідно.

2. Твердозерна спельта німецького походження та полба володіють високими борошномельно-круп'яними властивостями (плівчастістю, скловидністю й твердозерністю) і переважають спельту сорту Зоря України. Їх плівчастість складає 22—23%, склоподібність — 58—62%, твердозерність за Брабендером — 20—22 с, твердозерність за PSI — 7,2—10,9%, що характерно для звичайної пшениці (крім плівчастості). Їх доцільно використовувати для виробництва борошна, а також для виробництва цілої або дробленої крупи.

3. Спельта сорту Зоря України за склоподібністю (42%), твердозерністю за Брабендером (103 с), твердозерністю за PSI (17,2%) відноситься до напівтвердозерної або м'язозерної пшениці. Таке зерно доцільно використовувати для виробництва пластівців або для виробництва цільнозмеленого борошна. Відносна висока плівчастість (26%) знижує його технологічні властивості.

4. Зерно спельти та полби має більшу на 11—15% кількість клейковини, але показник ІДК більше 95 од., показник седиментації в оцтовій кислоті не перевищує 20 мл, що характерно для слабкої за хлібопекарською силою пшениці. Таке зерно можливо використовувати для стабілізації хлібопекарських властивостей зерна твердозерної пшениці: для підвищення вмісту білка, клейковини та її послаблення у помельній партії при переробці зерна хлібопекарської пшениці з дуже міцною клейковиною.

## Література

1. Котик Л.І. Стан здоров'я населення держав світу [Ел. ресурс] / Л.І. Котик // Актуальні проблеми країнознавчої науки : матеріали міжнародної наук.-практ. Інтернет-конф., 17 жовтня 2014 р. — Режим доступу : <http://internationalconference2014.wordpress.com/2014/10/17/стан-здоровья-населения-держав-світу>.
2. Methodology The World's Healthiest Countries [El. resource]. — Mode of access : [http://images.businessweek.com/bloomberg/pdfs/worlds\\_healthiest\\_countries.pdf](http://images.businessweek.com/bloomberg/pdfs/worlds_healthiest_countries.pdf).
3. Нагорная А.М. Социально-экономические детерминанты здоровья населения Украины [Электронный ресурс]. — Режим доступу : <http://www.infmed.kharkov.ua/1rus.htm>.
4. Давиденко Н.В. Динаміка особливостей харчування та серцево-судинні захворювання (15-річне дослідження) [Електронний ресурс] / Н.В. Давиденко // Проблеми харчування. — 2006. — № 3. — Режим доступу : [http://medved.kiev.ua/arh\\_nutr/art\\_2006/n-06\\_3\\_3.htm](http://medved.kiev.ua/arh_nutr/art_2006/n-06_3_3.htm).
5. Padulosi S. Hulled wheats [Ел. ресурс] / S. Padulosi, K. Hammer, J. Heller // Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops : 4. Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats, 21—22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy / Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. — 263 p.
6. Господаренко Г.М. Пшениця спельта [Текст] / Г.М. Господаренко, П.В. Костогриз, В.В. Любич, М.Ф. Парій та ін. / За заг. ред. Г.М. Господаренка. — Киев : СІК ГРУП УКРАЇНА, 2016. — 312 с.
7. Пумпянский А.Я. Технологические свойства мягких пшениц [Текст] / А.Я. Пумпянский. — Ленинград : Колос, 1971. — 320 с.
8. Miller B.S. Hardness (Texture) of Hard Red Winter Wheat Grown in a Soft Wheat Area and of Soft Red Winter Wheat Grown in a Hard Wheat Area [Text] / B.S. Miller, Y. Pomeranz, and S. Afework // Cereal Chem. — 1984. — 61(2). — P. 201—203.

9. Escarnot E. Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat, a review [Text] / E. Escarnot, J.-M. Jacquemin, R. Agneessens, M. Paquot // *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* — 2012. — 16(2). — P. 243—256.
10. Belitz H.-D. Food chemistry [Text] / H.-D. Belitz, W. Grosch // Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 1999. — 2nd ed. — P. 631—636.
11. Abdel-Aal E.S.M. Compositional and nutritional characteristics of spring einkorn and spelt wheats [Text] / E.S.M Abdel-Aal., P.Hucl, F.W. Sosulski // *Cereal Chem.* — 72. — 1995. — P. 621—624.
12. Grela E.R. Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars [Text] / E.R. Grela // *J. Sci. Food Agric.* — 1996. — 71. — P. 399—404.
13. Ranhotra G.S. Nutritional profile of three spelt wheat cultivars grown at five different locations [Text] / G.S. Ranhotra, J.A. Gelroth, B.K. Glaser, Stallknecht // *Cereal Chem.* — 1996. — 73(5). — P. 533—535.
14. Abdel-Aal E.S.M. Spelt: a specialty wheat for emerging food uses [Text] / E.S.M. Abdel-Aal, P. Hucl / In: Abdel-Aal E.S.M. & Wood P. Specialty grains for food and feed. // St Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists, 2005. — P. 109—141.



## IMPROVING AND STABILIZING THE PASTRY QUALITY DUE TO THE USAGE OF VARIOUS TYPES OF FLOUR

K. Iorgachova, O. Makarova, K. Khvostenko, O. Kotuzaki

*Odessa National Academy of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Waxy wheat flour  
Products of processing of  
Grain and cereal crops  
Sponge cakes  
Gingerbreads  
Yeast-containing cakes  
Technological properties  
Pastry dough  
Stabilization of the quality*

**Article history:**

Received 16.09.2017  
Received in revised form  
10.10.2017  
Accepted 23.10.2017

**Corresponding author:**

K. Iorgachova

**E-mail:**

[npnuht@ukr.net](mailto:npnuht@ukr.net)

---

**ABSTRACT**

The article substantiates the choice of flour confectionery products, in the production of which it is advisable to use different types of flour: non-floury flour — in the production of cupcakes on yeast, raw and custard cakes; non-bakery flour types, including Gluten free — for biscuits. The technological properties of the wheat-wax flour from the domestic breeding and processing products of cereals and cereals, including the by-products, differing in the type and method of grain processing in their production, were determined. Measures and technological solutions for the intensification of fermentation of yeast semifinished products, stabilization of structural and rheological properties of confectionery dough were developed, which made it possible to improve technologies, to shorten the length of the technological process, to complexly improve the quality, safety and physiological properties of products, their safety.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-27

---

## ПІДВИЩЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЯ ЯКОСТІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ ЗАВДЯКИ ВИКОРИСТАННЮ РІЗНИХ ВИДІВ БОРОШНА

К.Г. Іоргачова, О.В. Макарова, К.В. Хвостенко, О.М. Котузаки

*Одеська національна академія харчових технологій*

*У статті обґрунтовано вибір борошняних кондитерських виробів, при виробництві яких доцільно використовувати різні види борошна: безамілозне борошно — при виготовленні кексів на дріжджах, сирцевих і заварних пряників; нехлібопекарські види борошна, в т.ч. безглютенові — для бісквітів. Визначено технологічні властивості борошна з пшениці-ваксі вітчизняної селекції та борошна з продуктів переробки зернових і круп'яних культур, зокрема побічних, що розрізняються видом і способом обробки зернівки при їхньому виробництві. Розроблено заходи й технологічні рішення для інтенсифікації бродіння дріжджових напівфабрикатів, стабілізації структурно-реологічних властивостей кондитерського тіста, що дало змогу удосконалити технології,*

*скоротити тривалість технологічного процесу, комплексно покращити якість, безпечність і фізіологічні властивості виробів, їх збереженість.*

**Ключові слова:** борошно з пшениці ваксі, продуктів переробки зерно-круп'яних культур, бісквітні напівфабрикати, сирцеві і заварні пряники, кекси на дріжджах, технологічні властивості, кондитерське тісто, стабілізація якості.

**Постановка проблеми.** Якість борошняних кондитерських виробів (БКВ), в тому числі їх функціонально-фізіологічна спрямованість, терміни збереження ними зовнішнього вигляду, смаку, текстури обумовлюють їх конкурентоспроможність, адже є важливими характеристиками при виборі продуктів. Регулярність споживання БКВ свідчить про постійну їх наявність у раціоні переважної більшості українців, оскільки дана продукція відіграє важливу роль у забезпеченні соціальної рівноваги у суспільстві та коригуванні харчового статусу населення країни. Підвищення якості БКВ, її стабільність протягом гарантованих термінів зберігання без застосування синтетичних поліпшувачів, розширення асортименту продукції оздоровчого, спеціального призначення є пріоритетними завданнями для більшості підприємств галузі.

Одним із ефективних заходів вирішення зазначених завдань як з економічної, так і з технологічної точок зору є цілеспрямоване використання борошна з нових видів пшениці та різних зернових, круп'яних культур. Це борошно з пшениці-ваксі (безамілозне), з продуктів переробки нехлібопекарських культур (вівса, проса, рису, кукурудзи, гречки), в т. ч. побічних (крихти пластівців, проділу).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При вирішенні проблем стабілізації якості різних видів БКВ, збереження свіжості, незбалансованості цієї продукції за хімічним складом необхідно враховувати відмінності рецептурного складу, способу розпушення, технологій її виробництва, що обумовлює формування певних структурно-реологічних властивостей кондитерського тіста, текстури виробів і характер зміни первинних властивостей протягом зберігання.

Аналіз особливостей виробництва БКВ показав, що формування високої якості продукції значною мірою обумовлено технологічними властивостями пшеничного борошна, вимоги до якого залежно від виду виробів значно різняться. Так, технологією бісквітів, печива, пряників, кексів, вафель передбачене використання борошна зі слабкою або середньою за якістю клейковиною, інакше напівфабрикати будуть мати значну твердість, малий об'єм і низьку пористість.

Використання борошна з відповідними характеристиками, тобто цільового призначення, для виробництва кожної з груп борошняних виробів у нашій країні, на жаль, поки що не здійснюється, що призводить до ускладнення роботи технологів. Вирішення даної проблеми дасть змогу більш ефективно витратити зернові ресурси, раціоналізувати процес виробництва та стабілізувати якість готової продукції [1; 2].

Одним із способів вирішення завдання підвищення якості БКВ, яке тісно взаємопов'язане з питанням диференційованого підходу до технологічних

властивостей основної сировини при їх виробництві, є використання борошна з нового сорту безамілозної пшениці — ваксі (waxy) [1]. Аналіз літературних джерел показав доцільність використання борошна з пшениці ваксі (БПВ), виведеної японськими вченими, в технології хлібобулочних виробів з відкладеним випіканням завдяки більшій стійкості його крохмалю до заморожування. Встановлено також, що внесення її в рецептуру сприяє підвищенню споживчих характеристик протягом усього терміну зберігання таких груп борошняних виробів як цільнозерновий пшеничний хліб, страви азійської кухні, мафіни [3—6].

Низка досліджень присвячена визначенню можливості підвищення харчової цінності та якості БКВ завдяки додаванню нехлібопекарських видів борошна та проблемі розробки борошняної продукції для хворих на целиацію [7—9]. Внесення їх у рецептуру виробів, особливо враховуючи високий вміст у даній сировині дефіцитних у сучасному раціоні харчування речовин, сприяє позитивному фізіологічному впливу на організм людини. На основі вивчення впливу різних видів борошна на властивості тіста та якість готової продукції розроблені рецептури і нормативна документація на печиво, кекси, мафіни, пісочний напівфабрикат, галети тощо, в тому числі з безглютенового кукурудзяного, рисового та гречаного борошна.

Проте проблема комплексного забезпечення високої харчової цінності, якості борошняних виробів та її стабілізації під час зберігання потребує подальшого пошуку технологічних рішень їх виробництва з урахуванням фізіологічних і технологічних властивостей традиційної та нової сировини — борошна з ваксі-пшениці вітчизняної селекції та продуктів переробки зернових культур.

З огляду на вищезазначене, необхідним є обґрунтування вибору груп БКВ, для яких доцільно використовувати дане борошно; визначення впливу виду, параметрів попередньої обробки зерно-круп'яних культур на технологічні властивості отриманого з них борошна, формування властивостей кондитерського тіста та якості виробів, інтенсивність її зміни при зберіганні.

**Мета дослідження:** обґрунтування і вибір науково-технологічних рішень для підвищення та стабілізації якості борошняних кондитерських виробів при зберіганні й розширення асортименту продукції оздоровчого призначення.

**Викладення основних результатів дослідження.** При проведенні досліджень як сировину, крім хлібопекарського пшеничного борошна вищого сорту (ХПБ), використовували борошно з ваксі-пшениці (БПВ) та нехлібопекарські види борошна: з гречаної крупи термічно необробленої (ГК ТНО), гречане (ГБ), з гречаного проділу (Гпр), вівсяне (ВБ), кукурудзяне (КБ), рисове (РБ); просяне (ПрБ), борошно з крихти пластівців: гречаних (ГПБ), рисових (РПБ), просяних (ПрПБ), ячмінних (ЯПБ), вівсяних (ВПБ); модифіковані крохмалі Paselli P (МК-Р), Paselli BC (МК-BC).

Визначено та проаналізовано хімічний склад і технологічні властивості різних видів борошна і їх сумішей з хлібопекарським пшеничним борошном. Встановлено, що цукро- і газотворювальна здатність борошна з ваксі-пшениці (БПВ) вища на 40 і 22% порівняно з хлібопекарським борошном, температура клейстеризації його крохмалю менша на 14° С, а в'язкість максимальної клейстеризації водно-борошняної суспензії більша на 15% (рис. 1).

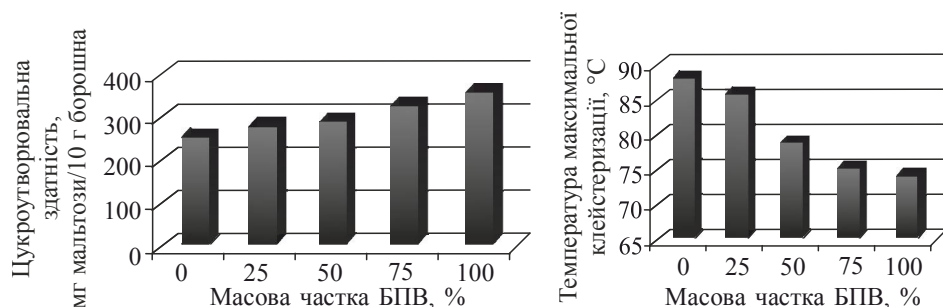


Рис. 1. Технологічні властивості борошняних сумішей із використанням БПВ

Встановлено зменшення числа падіння БПВ та його сумішей з хлібопекарським в 2,5...4,3 раза, зростання автолітичної активності на 27...44%, водопоглинальної здатності на 2...8% і на 7...26% водозв'язувальної здатності.

Це дало змогу спрогнозувати перспективність його спрямованого використання. Так, внесення борошна з пшениці ваксі, ймовірно, буде сприяти інтенсифікації технологічного процесу при виробництві борошняних кондитерських виробів, формування пористої структури яких обумовлено процесом бродіння. Також ефективних результатів можна досягти при вирішенні проблем швидкого черствіння пряникових виробів, адже крохмаль БПВ клейстеризується при більш низькій температурі і складається тільки з амілопектину. Даний полісахарид, як відомо, важче піддається ретроградації порівняно з амілозою, обов'язковою складовою крохмалю хлібопекарського пшеничного борошна.

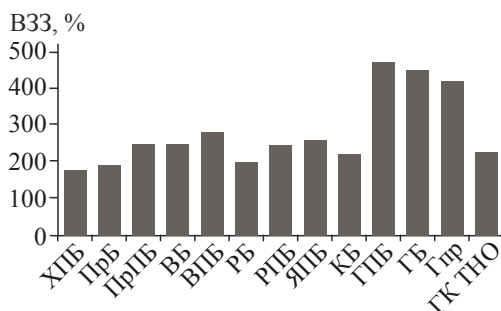


Рис. 2. Водозв'язувальна здатність борошна

На основі отриманих результатів (рис. 2, табл. 1) зроблено висновок, що борошно з крихт пластівців порівняно з однойменними видами борошна характеризується більшою на 24...68% водозв'язувальною здатністю, нижчою на 2...6° С температурою клейстеризації і більш низькою в'язкістю крохмального клейстеру (на 30...88 од. прил.). Така залежність обумовлена більш значними змінами у фракційному складі білків і вмісті декстринів порівняно з вихідною сировиною внаслідок використання більшої кількості води при їхній вологотермічній обробці і тривалості теплового впливу на зерно (табл. 2).

**Таблиця 1. Параметри процесу клейстеризації водно-борошняних суспензій нехлібопекарського борошна ( $n = 3, P \leq 0,05$ )**

Найменування показників амілографа	Види борошна												
	ХПБ	ПрБ	ПрПБ	ВБ	ВПБ	РБ	РПБ	ЯПБ	КБ	ГКТНО	ГБ	Гпр	ГПБ
Температура максимальної клейстеризації, °С	60	72	66	62	61	81	76	62	72	75	72	74	68
Максимальна в'язкість суспензії, од. прил.	680	568	480	920	890	980	900	640	943	990	940	830	890

Більш висока, порівняно з ХПБ, водозв'язувальна здатність борошна з продуктів переробки вівса, гречки, ячменю обумовлена великим вмістом в їхньому складі некрохмальних полісахаридів, в т. ч. клітковини,  $\beta$ -глюканів.

**Таблиця 2. Вуглеводні складові нехлібопекарських видів борошна ( $n = 3, P \leq 0,05$ )**

Найменування	Види борошна										
	ГКТНО	ГБ	Гпр	ГПБ	ПрБ	ПрПБ	ВБ	ВПБ	РБ	РПБ	
Крохмаль	58,4	53,2	56,0	55,0	64,6	59,3	63,5	60,1	79,1	76,4	
Декстрини	0,32	8,7	9,8	10,4	0,94	8,7	0,8	6,4	0,2	7,5	

Піноподібна структура бісквітних напівфабрикатів обумовлена більшою мірою наявністю в їхній рецептурі значної кількості яєчних продуктів — майже вдвічі більше, ніж борошна. Це дає можливість припустити ймовірність повної заміни пшеничного борошна на нехлібопекарське.

Відповідно до отриманих результатів обґрунтовано вибір борошняних кондитерських виробів, при виробництві яких доцільно використовувати різні види борошна. Так, безамілозне пшеничне борошно — при виготовленні кексів на дріжджах, сирцевих і заварних пряників; нехлібопекарські види борошна, в тому числі безглютенові — в технології бісквітних напівфабрикатів [11].

Нехлібопекарські види борошна у кількості 25...100% вносили у суміші з пшеничним борошном на стадії замісу бісквітного тіста, яке готували «холодним» двофазним способом. Борошно з продуктів переробки гречки використовували в масляних бісквітах з какао-порошком.

Важливою реологічною характеристикою бісквітного тіста як піни є в'язкість, яка виконує роль структурно-механічного бар'єру при утворенні і руйнуванні піноподібної структури. Встановлено, що внесення борошна з продуктів переробки вологотермічно обробленої гречки призводить до підвищення в'язкості бісквітного тіста на 15...38% (при  $j = 0,68 \text{ c}^{-1}$ ) та збільшення в 3 рази швидкості зсуву, при якій відбувається руйнування піної структури. При використанні решти нехлібопекарських видів борошна — з термічно необробленої гречки, різних продуктів переробки вівса, проса, рису, кукурудзи, особливо безглютенових, відзначено зниження в'язкості тіста на 29...60%, що, можливо, пов'язано зі зменшенням частки клейковини, особливостями фракційного складу білків даних видів борошна (рис. 3, 4).

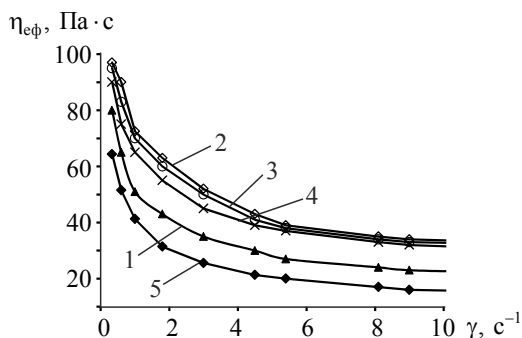


Рис. 3. Ефективна в'язкість тіста для масляного бісквітного напівфабрикату: 1 — контрольний зразок; 2 — Гпр; 3 — ГПБ, 4 — ГБ; 5 — ГК ТНО

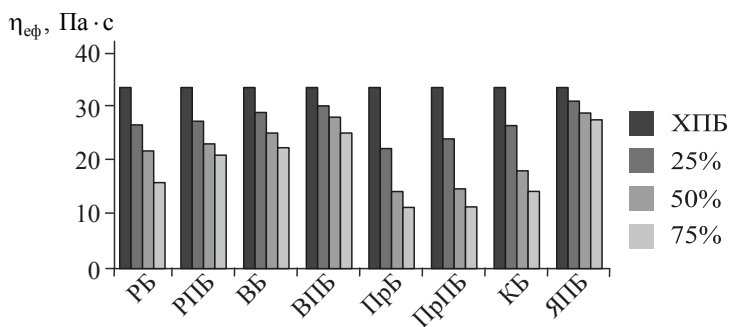


Рис. 4. Ефективна в'язкість тіста з використанням нехлібопекарських видів борошна для бісквіту основного

Визначено, що бісквітні напівфабрикати на основі кукурудзяного борошна і борошна з крихт просяних пластівців характеризувались більшою на 2...4% пористістю, ніж контрольний зразок (рис. 5). Використання гречаного борошна і борошна з термічно необробленої гречаної крупи при виробництві масляних бісквітних напівфабрикатів супроводжується зростанням пористості на 3,0 та 4,7% відповідно.

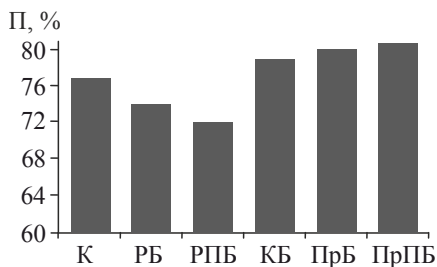


Рис. 5. Пористість бісквіта основного

Для обґрунтування і вибору технологічних рішень, з огляду на високу автолітичну активність БПВ, вивчалось два способи його внесення при виробництві кексів на дріжджах — внесення максимальної кількості безамілоз-

ного борошна на стадії приготування тіста (1 спосіб) та у вигляді суміші з ХПБ в опару і тісто (2 спосіб). Зразки готували за рецептурою кексу «Здоров'я», замінюючи 20, 40, 60, 80 і 100% хлібопекарського борошна на БПВ.

Встановлено, що використання БПВ для приготування даних виробів сприяє скороченню тривалості технологічного процесу на 30...50 хвилин залежно від масової частки і способу його внесення. Замість напівфабрикатів на суміші безамілезного і хлібопекарського пшеничного борошна інтенсифікує процес бродіння опари, а в разі внесення борошна з пшениці ваксі на стадії замісу тіста супроводжується його більш швидким дозріванням (табл. 3). Дана тенденція, ймовірно, обумовлена менш інтенсивним газоутворенням і кислотонакопиченням в тісті, яке замішане з суміші різних видів пшеничного борошна (2 спосіб), адже велика частина цукрів, що вносяться до напівфабрикатів з БПВ, зброджуються вже на першій стадії тістоприготування (в опарі).

*Таблиця 3. Вплив способу внесення БПВ на процес бродіння тіста для кексів на дріжджах (n = 3, P ≤ 0,05)*

Назва показника	1 спосіб						2 спосіб					
	опара			тісто			опара			тісто		
	ХПБ	60%БПВ	100% БПВ	ХПБ	60%БПВ	100% БПВ	ХПБ	60%БПВ	100% БПВ	ХПБ	60%БПВ	100% БПВ
Об'єм виділеного вуглекислого газу, см <sup>3</sup> /100г	733	896	1320	450	586	680	733	1012	1320	450	560	680
Кінцева титрована кислотність, град	3,0	4,7	7,4	3,0	5,4	6,6	3,0	5,3	7,4	3,0	5,0	6,6
Підйомна сила, хв	8	6	3	12	6	5	8	5	3	12	7	5

Важливо відзначити, що зростання кінцевої кислотності зразків не пов'язане з більш високою кислотністю БПВ (кислотність БПВ і ХПБ становить 3...3,2 град), а, ймовірно, обумовлене збільшенням кількості в опарі і тісті з БПВ низькомолекулярних декстринів і простих цукрів, які інтенсифікують ряд біохімічних процесів, що відбуваються в напівфабрикатах. Оскільки надмірне збільшення кислотності може негативно вплинути на органолептичні характеристики готових виробів, рекомендовано скоротити тривалість бродіння тіста до досягнення його кінцевої кислотності 3,2...3,5 град.

Найкращими фізико-хімічними та органолептичними властивостями характеризувалися зразки з 60% БПВ при максимальному внесенні його на стадії замісу тіста. Для даних зразків пористість збільшилася на 4%, питомий об'єм — на 11%, а стиснення м'якушки — на 41% порівняно з контролем.

Для регулювання структурно-реологічних властивостей і якості бісквітних напівфабрикатів у разі повної заміни пшеничного борошна на нехлібопекарські види досліджували доцільність використання при їх виробництві різних видів модифікованих крохмалів. Адже виготовлення бісквітів на безглюте-

нових видах борошна призводить до значного зниження в'язкості тіста, збільшення пластичних властивостей і кришкуватості виробів, а зразки на основі борошна з продуктів переробки рису характеризувались низьким питомим об'ємом та пористістю (рис. 5). При проведенні досліджень картопляний крохмаль заміняли модифікованими крохмалю Paselli P (МК — Р), Paselli BC (МК — ВР). Дані види картопляного крохмалю є попередньо клейстеризованими, дикрохмальфосфатами, модифікований крохмаль ВС — ацетилований «зшитий».

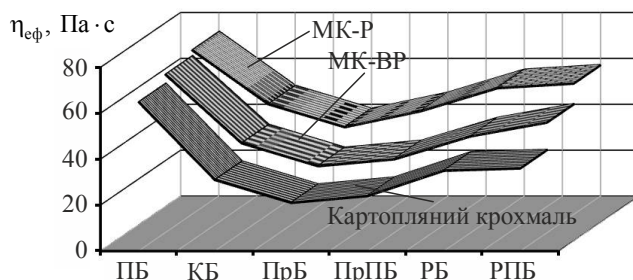


Рис. 6. Вплив модифікованих крохмалів на в'язкість бісквітного тіста

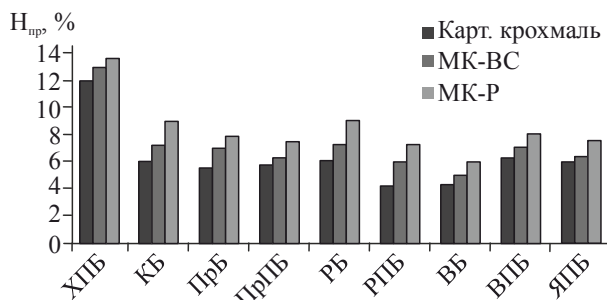


Рис. 7. Вплив модифікованих крохмалів на відносну пружність бісквітних напівфабрикатів

Результати дослідження (рис. 6) свідчать, що заміна картопляного крохмалю на модифікований сприяє стабілізації структурно-реологічних властивостей пінної структури — збільшенню в'язкості бісквітного тіста на 10,0...87,0% (при  $j = 0,17 \text{ c}^{-1}$ ) залежно від виду борошна.

Внесення в рецептуру бісквітних напівфабрикатів з нехлібопекарських видів борошна модифікованих крохмалів супроводжується збільшенням питомого об'єму бісквітів на 12...23% та їхніх пружних властивостей (рис. 7), зменшенням кришкуватості м'якушки на 2,2%. Це, ймовірно, обумовлено здатністю модифікованих «зшитих» крохмалів утворювати міцні плівки з підвищеною стійкістю до механічного впливу і теплової обробки.

Оптимізовано рецептурний склад безглютенового бісквітного напівфабрикату на основі суміші борошна з крихти просяних пластівців (60%), кукурудзяного (30%) і рисового борошна (10%).

Бісквітний напівфабрикат на основі безглютенової суміші характеризувався кращими показниками якості (табл. 4).



Таблиця 4. Фізико-хімічні показники якості бісквітних напівфабрикатів ( $n = 3, P \leq 0,05$ )

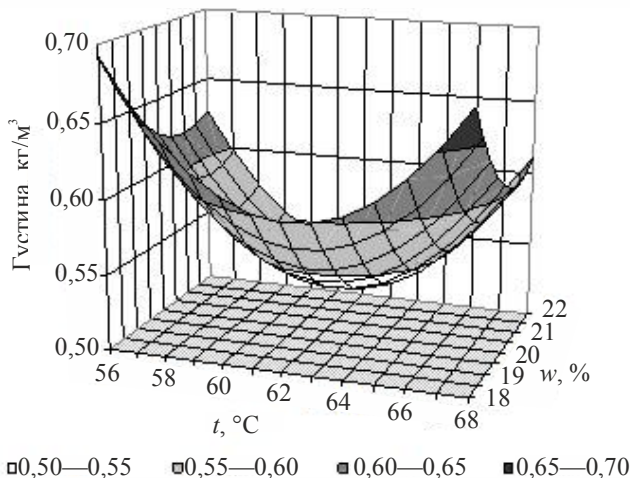
Найменування напівфабрикату	Показники якості					
	Вологість тіста, %	Густина тіста, кг/см <sup>3</sup>	Вологість бісквіту, %	Упікання, %	Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /г	Пористість, %
Контроль	37,0	410	25,0	13,3	4,7	77
Безглютоеновий	38,2	440	27,7	10,8	5,6	83

Встановлено, що заміна ХПБ на безамілозне в рецептурі сирцевих пряників сприяє покращенню їхньої формостійкості.

Аналіз органолептичних показників заварних пряників, навпаки, показав, що заміна ХПБ на БПВ в рецептурі більш ніж на 50% призводить до отримання виробів низької якості, розпливчатої форми з липкою м'якушкою, зі зниженою здатністю до намокання. Отримана залежність, ймовірно, обумовлена більш інтенсивним гідролізом крохмалю даного борошна, водорозчинні продукти якого призводять до збільшення кількості рідкої фази в заварному тісті, його надмірного розрідження в початковий період випікання.

У зв'язку з цим, для стабілізації якісних характеристик заварних пряників на основі БПВ, враховуючи параметри клейстеризації його крохмалю, запропоновано зниження температури цукрового сиропу для заварювання борошна, що сприяє стабілізації реологічних властивостей тіста — на 22% зростає його в'язкість та знижується розпливання тістових заготовок.

На підставі оптимізації складу й технологічних параметрів приготування заварних пряників встановлено, що максимальна пористість і зниження густини виробів у разі повної заміни ХПБ на БПВ забезпечується при заварюванні борошна цукровим сиропом за температури 62° С при 22% вологи, тоді як за традиційною технологією — 68° С (рис. 8).



**Рис. 8. Максимальна пористість і зниження густини виробів у разі повної заміни ХПБ на БПВ**

Дослідження зміни якості різних видів БКВ при зберіганні показало, що використання борошна з пшениці ваксі в технології кексів на дріжджах, сирцевих і заварних пряників, та нехлібопекарських видів борошна, особливо з крихт пластівців, при виробництві бісквітів дає змогу знизити інтенсивність зміни первинних властивостей виробів [12]. Так, заміна хлібопекарського на безамілозне борошно сприяє кращому збереженню їх свіжості — зменшенню втрати вологи, менш інтенсивному зменшенню гідрофільних властивостей (на 26%), в'язкості її суспензії та зростанню кришкуватості м'якушки пряників і кексів на дріжджах; зниженню на 28% зростання показника стиснення м'якушки сирцевих пряників при зберіганні. Зниження гідрофільних властивостей м'якушки бісквіту при внесенні борошна з крихти пластівців було меншим, ніж у зразків з однойменними видами борошна, на 11...13% (рис. 9).

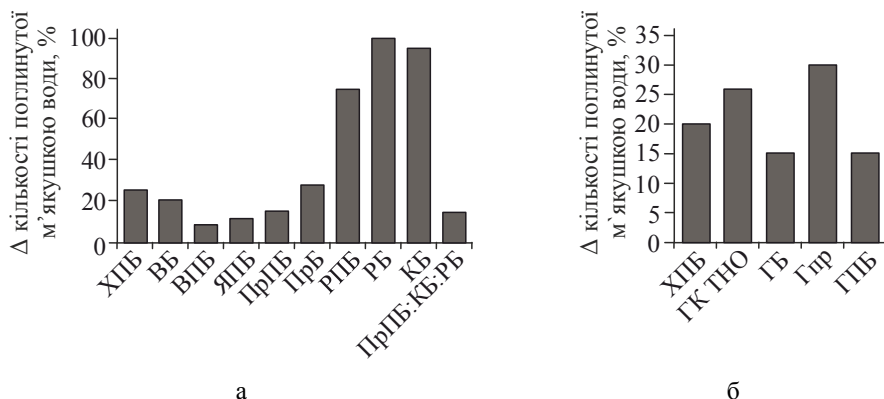


Рис. 9. Зміна гідрофільних властивостей м'якушки бісквітного напівфабрикату основного (а) і масляного (б) після 10 діб зберігання

За результатами рентгенофазового аналізу (рис. 10) визначено, що використання борошна з пшениці ваксі і крихти круп'яних пластівців сприяє уповільненню черствіння борошняних кондитерських виробів — більш «розмиті» дифракційні максимуми їх м'якушки свідчать про краще збереження аморфного стану структури крохмалю та меншу швидкість його ретроградації при зберіганні виробів.

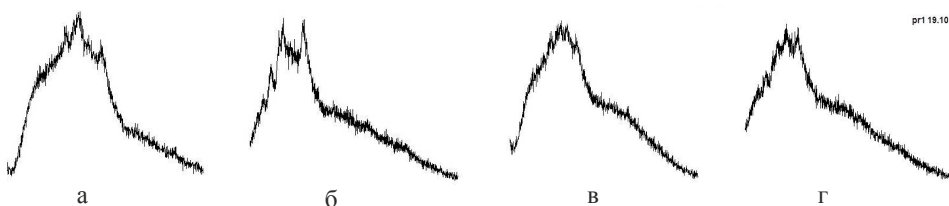


Рис. 10. Дифрактограми м'якушки сирцевих пряників після випікання: а — ХПБ, в — БПБ; після 25 діб зберігання: б — ХПБ, г — БПБ

Зниження інтенсивності змін м'якушки виробів, ймовірно, обумовлене більшим ступенем деструкції крохмалю даних видів борошна у процесі випікання у зв'язку з більш низькою температурою клейстеризації їх крохмалю

(табл. 1, рис. 1), адже зруйнованим молекулам важче об'єднатися й утворити кристалічну фазу. При цьому кількість негідролізованого крохмалю зменшується, знижуючи таким чином ступінь його ретроградації, яка є однією з основних причин підвищення твердості, черствіння виробів при зберіганні. Крім того, встановлені закономірності, пов'язані зі здатністю амілопектину знаходитися в аморфному стані більш тривалий час порівняно з амілозою. Дані особливості крохмалю БПВ сприяють зниженню інтенсивності перебігу процесу синерезису та обумовлюють більш високу в'язкість суспензії м'якушки зразків на основі БПВ й уповільнення її зменшення при зберіганні.

На підставі отриманих результатів розроблено рецептури й удосконалено технології борошняних кондитерських виробів (кексів, сирцевих і заварних пряників, бісквітних напівфабрикатів, цукрового печива), в тому числі спеціального призначення, на основі використання різних видів борошна.

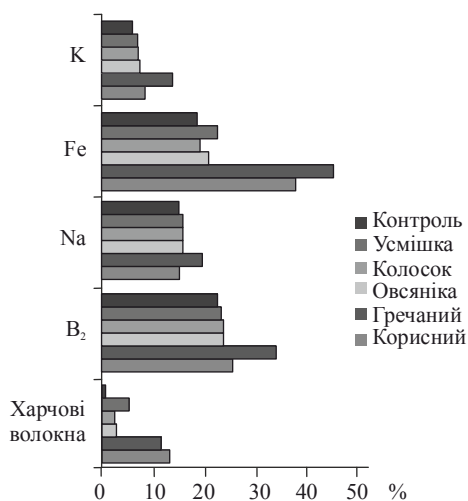


Рис. 11. Ступінь задоволення добової потреби в основних дефіцитних нутрієнтах при споживанні бісквітів

тів (основний, масляний, з маслом і какао-порошком) з використанням борошна з різних продуктів переробки зернових і круп'яних культур («Золотий», «Бриз», «Овсяніка», «Колосок», «Порошинка», «Корисний», «Усмішка», «Сонячний», «Мрія», «Гречаний», «Борошинка»); кекси на дріжджах, пряники сирцеві, пряники заварні на основі борошна з пшениці ваксі («Здоров'я-к», «Ванільні преміум», «Ладозьські нові»).

Проведено апробацію розроблених борошняних виробів у промислових умовах, впроваджено дослідні партії п'яти видів продукції, готові вироби схвалені дегустаційними комісіями підприємств.

## Висновки

На основі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано та доведено технологічну доцільність використання борошна з пшениці-ваксі

Враховуючи цінний хімічний склад нехлібопекарських видів борошна, проведено визначення харчової цінності розроблених виробів.

Порівняльний аналіз харчової цінності бісквітних напівфабрикатів (рис. 11) показав, що внесення їх у рецептуру нехлібопекарських видів борошна збагачує вироби мінеральними речовинами, вітамінами, харчовими волокнами.

Так, при споживанні 100 г розроблених нових видів бісквітних напівфабрикатів добова потреба в Fe задовольняється на 18,9...46,3%, Na — на 15,9 ...19,5%, вітаміну B<sub>2</sub> — на 20,8...32,5%.

На основі проведених досліджень розроблено проект нормативної документації (технологічні інструкції, рецептури, технічні умови) на одинадцять найменувань бісквітних напівфабрика-

(безамілозного) із зерно-круп'яних нехлібопекарських культур (вівса, проса, рису, кукурудзи, гречки) і побічних продуктів їх виробництва (крихти пластівців, проділу) та визначено технологічні рішення при їх використанні в технології кексів і пряникових виробів, бісквітних напівфабрикатів для підвищення і стабілізації якості, розширення асортименту продукції підвищеної харчової цінності та спеціального призначення. Використання борошна з пшениці ваксі в технології кексів на дріжджах, пряників та нехлібопекарського борошна, особливо з крихт пластівців, при виробництві бісквітів дає змогу уповільнити швидкість ретроградації крохмалю та інтенсивність зміни їх первинних властивостей.

Виробництво борошняних кондитерських виробів з використанням запропонованої сировини як альтернативи синтетичним поліпшувачам, стабілізаторам якості та консервантам надасть можливість зменшити застосування останніх на підприємствах галузі, поліпшити екологічний стан, якість, харчову цінність, подовжити збереження свіжості продукції.

### Література

1. *Рибалка О.І.* Якість пшениці та її поліпшення [Текст] / О. І. Рибалка. — Київ : Логос, 2011. — 495 с.
2. *Moiraghi M.* Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality [Text] / M. Moiraghi [and other] // Journal of the Science of Food and Agriculture. — 2013. — V. 93. — № 3. — P. 429—440.
3. *Yi J.* Properties of bread made from frozen dough containing waxy wheat flour [Текст] / J. Yi, J. W. Johnson, W. L. Kerr // Journal of Cereal Science. — 2009. — Vol. 50, № 3. — P. 364—369.
4. *Choi I.* Substituting Normal and Waxy-Type Whole Wheat Flour on Dough and Baking Properties [Текст] / I. Choi [и др.] // Preventive nutrition and food science. — 2012. — № 17(3). — P. 197—202.
5. *Huang Y.-C.* Noodle quality affected by different cereal starches [Текст] / Y.-C. Huang, H.-M. Lai // Journal of food engineering. — 2010. — № 97. — P. 135—143.
6. *Acosta K.* Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheat flour [Текст] / K. Acosta, G. Cavender, K. R. William // Journal of Food Quality. — 2011. — Vol. 34, № 5. — P. 343—351.
7. *Росляков М.Г.* Использование муки тритикале при производстве галет [Текст] // М.Г. Росляков, В.О. Краснолобова. — Пищевая технология и сервис. — 2010. — № 4. — С. 25—29.
8. Preparation of gluten free bread using the mixture of different cereals grain flour [Text] / [Mamunur R., Abdul Wazed A., Islam R. et al.] // International Journal of Advanced Multidisciplinary Research. — 2016. — Vol. 3. — P. 280—289.
9. *Дорохович В.В.* Безглютенові борошняні кондитерські вироби / В.В. Дорохович, Н.П. Лазоренко // Обладнання та технології харчових виробництв. — 2013. — Вип. 30. — С. 341—347.
10. Studies on the formulation and quality characteristics of gluten free muffins [Text] / [Man S., Păucean A., Muste S., Pop A.] // Journal of Agroalimentary Processes and Technologies. — 2014. — Vol. 20(2). — P. 122—127.
11. *Иоргачева Е.Г.* Обоснование выбора групп мучных кондитерских изделий для использования муки из ваксы пшеницы [Текст] / Е.Г. Иоргачева, Макарова О.В., Е.В. Хвостенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2016. — № 2/11(80) — С. 12—19 DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65756.
12. *Иоргачева Е.Г.* Влияние нехлебопекарных видов муки на изменение качества бисквитных полуфабрикатов при хранении [Текст] / Е.Г. Иоргачева, О.В. Макарова, Е.Н. Котузаки // Наук.пр. / ОНАХТ. — О., 2014. — Вип. 46, Т. 1. — С. 112—117.

## EFFECT OF PREVIOUS ENZYMATIC TREATMENT OF RAPESEED MEAL ON THE LIPASE ACTIVITY AND OIL QUALITY

T. Nosenko, A. Cherstva, T. Korolyuk  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Rape seeds*  
*Cellulases*  
*Proteases*  
*Lipase*  
*Peroxid number*  
*Anisidine number*  
*Meal*  
*Oil*

**Article history:**

Received 15.09.2017  
Received in revised form  
06.10.2017  
Accepted 19.10.2017

**Corresponding author:**

T. Nosenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The effect of previous enzymatic treatment of rapeseed meal on the lipase activity and the quality indices of the extracted oil was investigated in this study. The mixture of enzyme preparations with cellulolytic and proteolytic activity CELIULAD and PROTOLAD (Enzim, Ukraine) was used for the previous enzymatic treatment of rapeseed meal. It was shown that lipase activity in rapeseed meal, which was subjected to previous enzymatic treatment, was lower compared to control and amounted to approximately 66% of the lipase activity in the control sample. The content of free fatty acids and carbonyl compounds in rapeseed oil after the previous enzymatic treatment of the meal was significantly lower compared to the control oil sample. At the same time, the peroxide value of the oil extracted from the processed meal was significantly higher compared to the control sample; however, it was within the values regulated by the standard. The use of enzyme pretreatment in the preparation of rape seeds to the pressing allows the obtaining of high quality oil with antioxidant stability.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-28

---

## ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ФЕРМЕНТАТИВНОЇ ОБРОБКИ РІПАКОВОЇ М'ЯТКИ НА АКТИВНІСТЬ ЛІПАЗИ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ОЛІЇ

Т.Т. Носенко, А.О. Черства, Т.А. Королюк  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті досліджено вплив попередньої ферментативної обробки ріпаккової м'ятки на активність ліпази та показники якості вилученої олії. Для попередньої ферментативної обробки ріпаккової м'ятки було використано суміш ферментних препаратів із целюлозолітичною та протеолітичною активністю целюлад та протолад («Ензим», Україна). Відповідно до отриманих результатів, активність ліпази у ріпаківій м'ятці, яка піддавалася попередній ферментативній обробці, була нижчою порівняно із контролем, і становила приблизно 66% від активності ліпаз у необробленому зразку*

*м'ятки. Вміст вільних жирних кислот і карбонільних сполук у ріпаковій олії після попередньої ферментативної обробки м'ятки був суттєво нижчим порівняно із контрольним зразком олії. У той же час пероксидне число олії, вилученої з обробленої м'ятки, було значно вищим порівняно із контрольним зразком, проте знаходилось у межах значень, регламентованих стандартом. Використання комбінованих ферментних препаратів під час підготовки насіння ріпаку до стадії пресування дає змогу вилучити олію високої якості та антиокиснювальної стабільності.*

**Ключові слова:** насіння ріпаку, целюлази, протеази, ліпази, пероксидне число, анізидинове число, м'ятка, олія.

**Постановка проблеми.** Одним із найпоширеніших методів вилучення олії із олійної сировини є пресовий метод. На ефективність пресування олійної сировини впливає значна низка факторів, які, у свою чергу, залежать від параметрів обробки олійного матеріалу. Стан сучасних технологій видобування рослинних олій спонукає науковців до розробки та впровадження технологій, які б забезпечували збільшення виходу пресової олії та були екологічними і безпечними. Одним із способів підвищення ефективності пресування є використання попередньої ферментативної обробки олійного матеріалу як методу підготовки до пресового вилучення олії.

Згідно з робочою гіпотезою ферментні препарати із целюлозолітичною та протеолітичною активністю спричиняють ферментативний гідроліз клітинних стінок насіння, внаслідок чого клітинна оболонка обробленого матеріалу буде мати вищу проникність для олії. Проте біохімічні зміни, які відбуваються у сировині під впливом такої обробки, потребують більш ретельних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів для олійножирової галузі полягає у розробленні технології обробки ріпакової м'ятки ферментними препаратами із целюлозолітичною та протеолітичною активністю для підвищення ефективності пресового вилучення олії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Попередніми дослідженнями встановлено, що низка ферментів з целюлолітичною, геміцелюлазною чи пектиназною активностями можуть бути ефективно використані на різних стадіях процесу вилучення олії [1—6].

Результати досліджень фізико-хімічних параметрів сезамової олії свідчать про те, що показник заломлення, число омилення, йодне число і кількість неомілюваних речовин залишаються незмінними для олій, незважаючи на спосіб вилучення з олійного матеріалу [7]. Було встановлено, що пероксидне число після процесу водно-ферментативного екстрагування знаходиться в межах від 0,64 до 0,72 ммоль  $\frac{1}{2}$  O/кг, а після екстрагування з використанням органічного розчинника — 1,29 ммоль  $\frac{1}{2}$  O /кг [7].

Досліджено, що вміст  $\alpha$ -токоферолу у олії після водно-ферментативної і традиційної екстракції значно вищий, ніж у контрольному (без додавання ферментного препарату) зразку. Концентрація  $\alpha$ -токоферолу, залежить від обра-

ного ферменту і може різко коливатися. Збільшення вмісту токоферолів в олії є однією з причин більш низького вмісту первинних продуктів окиснення [8; 9].

Вихід пресої олії, отриманої методом холодного віджиму з використанням попередньої обробки сировини ферментами, був вищим порівняно з олією, вилученою розчинником [2; 10], та із контролем. Відмінностей значень числа омилення, вмісту неомилюваних речовин і вільних жирних кислот не виявлено. Олія, отримана методом попередньої ферментативної обробки, мала кращі органолептичні показники, нижче значення анізидинового числа та більш тривалий період індукції окиснення. Олія, отримана у такий спосіб, мала більшу антиоксидантну активність, а також загальну кількість фенолів та індувальних фенольних кислот.

Більш висока окиснювальна стійкість, визначена за значенням пероксидного, анізидинового чисел та індукційного періоду окиснення, олії, одержаної методом водно-ензимного екстрагування, була виявлена також авторами досліджень [11—14].

**Мета статті:** дослідити вплив попередньої ферментативної обробки ріпакової м'ятки на ензиматичну активність м'ятки й антиоксидантні властивості пресої ріпакової олії.

**Матеріали і методи.** У дослідженні використано низькоерукове низькоглюкозинолатне насіння ріпаку *Brassica napus* та ферментні препарати целюлад (комплексний ферментний препарат целюлази для гідролізу некрохмальних полісахаридів сировини, «Ензим», Україна) та протолад (ферментний препарат бактеріальної протеази, «Ензим», Україна).

*Визначення фракційного складу частинок ріпакової м'ятки.* Розділення виконували методом просіювання матеріалу через комплект сит, який складався з 4 сит з розміром отворів: 0,25; 0,5; 1; 2 мм. Просіювання виконували протягом 3—5 хв, визначали масу сходу із кожного сита, а також прохід через найнижче сито.

*Визначення активності ліпази ріпакової м'ятки.* Наважку м'ятки ( $16,0 \pm 0,1$ ) г ретельно розтирали у фарфоровій ступці з невеликою кількістю води. Отриману суспензію переносили в мірну колбу ємністю  $200 \text{ см}^3$  і доводили водою до мітки. Піпеткою відбирали  $25 \text{ см}^3$  добре перемішаної суспензії в колбу ємністю  $250 \text{ см}^3$ , додавали  $20 \text{ см}^3$  10-відсоткової емульсії ріпакової олії у воді і  $10 \text{ см}^3$  фосфатного буферного розчину з рН 5. До суміші додавали декілька крапель толуолу для запобігання мікробіологічних процесів, закривали колбу корком і ставили в термостат за температури  $35\text{—}38^\circ \text{C}$ . Після експонування проби протягом доби до вмісту колби додавали  $50 \text{ см}^3$  спирто-ефірної суміші (4:1) і титрували 0,1 н. розчином КОН за наявності фенолфталеїну. Контрольне визначення проводили аналогічно, для попередньої інактивації ліпази суспензію м'ятки кип'ятили декілька хвилин перед термостатуванням. Всі визначення повторювали тричі, відбираючи по  $25 \text{ см}^3$  із  $200 \text{ см}^3$  суспензії.

Активність ферменту визначили за формулою:

$$x = \frac{(V_1 - V_0) \cdot K \cdot 800}{P(100 - B)},$$

де  $x$  — активність ліпази в  $\text{см}^3$  0,1 н. розчину КОН витраченого на нейтралізацію вільних жирних кислот, які утворилися під дією ліпази, що містилася в 1 г сухої м'ятки;  $V_1$  — кількість  $\text{см}^3$  0,1 н. розчину КОН, витраченого на титрування робочої проби;  $V_0$  — кількість  $\text{см}^3$  0,1 н. розчину КОН витраченого на титрування контрольної проби;  $K$  — поправка до нормальності розчину лугу; 800 — коефіцієнт, отриманий в результаті скорочення  $\left(\frac{200 \cdot 100}{25}\right)$ ;  $P$  — наважка м'ятки в г;  $B$  — вологість м'ятки в %.

Пероксидне число визначали згідно з ДСТУ ISO 3960-2001 (ISO 3960:1998, IDT) [15], анізидинове — за ДСТУ ISO 6885-2002 [16].

Загальний вміст токоферолів визначали спектрофотометричним методом [17]. Для цієї мети 0,5 г олії омилювали в спиртовому розчині гідроксиду калію протягом 30 хв. Неомилені речовини екстрагували тричі диетиловим ефіром. Об'єднаний екстракт промивали дистильованою водою і висушували сульфатом натрію протягом 30 хв. Після цього ефір відганяли на роторному випарювачі при температурі 40—50° С, а залишок розчиняли в метанолі об'ємом 5  $\text{см}^3$ . До 1  $\text{см}^3$  розчину додавали 3  $\text{см}^3$  метанолу, 1  $\text{см}^3$  0,1-ідсоткового розчину о-фенантроліну в метанолі і 1  $\text{см}^3$  0,25 %-вого розчину хлориду заліза (III) у метанолі. Реакцію проводили 3 хв у темному місці, оптичну густину розчину вимірювали на довжині хвилі 490 нм і визначали концентрацію токоферолів за калібрувальним графіком, побудованим із використанням стандартних розчинів токоферолу концентрацією від 1 до 100  $\text{мг}/\text{см}^3$ .

**Результати та їх обговорення.** Ступінь подрібнення олійного насіння впливає на технологічні властивості (пластичність, розмір пор) підготовленої мезги. Збільшення ступеня подрібнення олійного насіння може вплинути також на активність ліпази. Згідно з традиційною технологією, в олійній м'ятці повинні переважати частинки із розмірами 1 мм.

Одержана ріпакова м'ятка мала оптимальний ступінь подрібнення і складалась більш ніж на 60% з однорідних за розміром частинок, що проходять крізь сито з отворами 1 мм (табл. 1), містила невеликий відсоток цілих незруйнованих насінин (2,5%), частка надто дрібних (борошнистих) частинок у ній складала 6,6%.

Таблиця 1. Фракційний склад частинок ріпакової мятки

$d_{\text{отворів}}$ , мм	Масова частка фракції, % від загального вмісту
0,25	6,6±0,5
0,50	14,1±0,6
1,00	76,8±1,2
2,00	2,5±0,4
Разом	100

Відомо, що внаслідок подрібнення насіння в процесі приготування м'ятки в ній зростає активність таких гідролітичних ферментів, як ліпази. Насамперед дія цього ферменту призводить до гідролізу триацилгліцеролів і таким чином



до погіршення якості одержаної олії (збільшення кислотного числа). За тривалої обробки зі збільшеною вологістю матеріалу ймовірність активації ліпаз олійної м'ятки суттєво зростає.

У зв'язку з цим нами були проведені дослідження активності ліпаз м'ятки насіння ріпаку, яка піддавалася попередній ферментативній обробці.

Дослідження активності ферменту проводили у ріпаковій м'ятці після її оброблення комплексом ферментних препаратів (Целюлад 24,0 од/г; Протолад 39,7 од/г) протягом 2 год, за температури  $(40 \pm 5)$  °С. Активність ліпаз порівнювали із контрольним зразком, який піддавався нагріванню за такої ж температури протягом 2 год без додавання суміші ферментних препаратів. Наведені результати визначення активності ліпази (табл. 2) свідчать, що ліпазна активність у контрольному зразку була вищою, а саме —  $6,85 \text{ см}^3 0,1 \text{ Моль КОН/г}$ . Активність ліпази у ріпаковій м'ятці, що піддавалася попередній ферментативній обробці, була нижчою порівняно з контролем.

Незважаючи на те, що ліпаза ріпакового насіння хоча і належить до класу гідролітичних ферментів, але цей фермент має оптимум рН 4,7—5,0, у той час як використані у дослідженні ферментні препарати мали оптимальне значення рН у нейтральному середовищі.

*Таблиця 2. Активність ліпази ріпакової м'ятки*

Спосіб обробки м'ятки	Активність ліпази, $\text{см}^3 0,1 \text{ Моль КОН/г м'ятки}$
Ріпакова м'ятка (контроль) без ферментативної обробки	$6,85 \pm 0,2$
Ріпакова м'ятка, оброблена комплексом ферментних препаратів (Целюлад 24,0 од/г; Протолад 39,7 од/г) протягом 2 год, $(40 \pm 5)$ °С, рН=6,8	$4,49 \pm 0,5$

Використання ферментних препаратів у технології пресового вилучення ріпакової олії ставить актуальним питання щодо її якості та антиокиснювальної стабільності. Для з'ясування даного питання було проведено дослідження впливу попередньої ферментативної обробки м'ятки на значення основних показників якості ріпакової олії (кислотного, пероксидного та анізидинового числа, вмісту токоферолів).

Як свідчать одержані дані, кислотне число ріпакової олії було нижчим за значення цього показника для контрольного зразка олії (табл. 3). Більш низькі значення кислотного числа олії, одержаної після ферментативної обробки м'ятки, очевидно зумовлені нижчою активністю ліпаз у м'ятці. Значення пероксидного числа зразків олії, одержаної після ферментативної обробки м'ятки, були вищі від значень контрольного зразка олії, проте пероксидне число олії не перевищувало значень, регламентованих стандартом. У той же час вміст вторинних продуктів окиснення, визначений за значенням анізидинового числа, у ріпаковій олії, одержаній після попередньої ферментативної обробки, був нижчим порівняно з контрольним зразком олії.

*Таблиця 3. Показники якості зразків пресової ріпакової олії*

Параметри	Кислотне число, мг КОН/г	Пероксидне число, ммоль ½ О/кг	Анізидинове число	Масова частка токоферолів, мг/100 г
Контроль	0,9±0,06	1,8±0,31	1,8±0,1	20,9±0,4
Ріпакова олія після попередньої ферментативної обробки (Целюлад 24,0 од/г; Проголад 39,7 од/г) 2 год, (40±5) °С	0,2±0,03	4,7±0,43	1,1±0,2	21,4±0,5

В одержаних зразках пресової ріпакової олії також було визначено вміст токоферолів, сполук, що мають виражені антиоксидантні властивості. Загальний вміст токоферолів у досліджених зразках олії практично не відрізнявся. Наведені дані можуть свідчити про потенційну окиснювальну стійкість ріпакової олії, одержаної після попередньої ферментативної обробки.

### **Висновки**

Таким чином, одержані результати активності ліпаз і показників якості ріпакової олії, які визначають антиокиснювальну стабільність олії, свідчать, що олія, одержана методом попередньої ферментативної обробки ріпакової м'ятки, має низький вміст вільних жирних кислот і карбонільних сполук.

На основі одержаних результатів можна рекомендувати технологію пресового вилучення ріпакової олії із використанням попередньої ферментативної обробки до практичного застосування.

### **Література**

1. *Abdulkarim S, Long K, Lai M, Muhammad S, Ghazali H.* (2005), Some physico-chemical properties of Moringa oleifera seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods, *Food Chem.* 93, pp. 253—263.
2. *Anwar F, Zreen Z, Sultana B, Jamil A.* (2013), Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): Enhancement in yield, quality and phenolics of the oil, *Grasas y aceites*, 64 (5), octubre-diciembre, pp. 463—471.
3. *Che Man Y, Suhardiyono A, Asbi A, Azudin M, Wei L.* (1996), Aqueous enzymatic extraction of coconut oil, *Journal of American Oil Chemist's Society*, 73, pp. 683—686.
4. *Dominguez H, Nunez M, Lema J.* (1993), Oil extractability from enzymatically treated soybean and sunflower: range of operational variables, *Food Chemistry*, 46, pp. 277—284.
5. *Dominguez H, Nunez M, Lema J.* (1994), Enzymatic pretreatment to enhance oil extraction from fruits and oilseeds: a review, *Food Chemistry*, 49, pp. 271—286.
6. *Zhang S, Wang Z, Xu S.* (2007), Optimization of the aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates, *J. Am Oil Chem. Soc.*, 84, pp. 97—105.
7. *Latif S, Anwar F.* (2011), Aqueous enzymatic sesame oil and protein extraction. *Food Chem.*, 125, pp. 679—684.
8. *Koroliuk T, Usatiuk S, Popova A, Cherstva A.* (2015), Technology of making walnut oil using enzyme preparation, *Scientific Works of NUFT*, 21(2), pp. 231—234.
9. *Latif S, Anwar F, Hussain A, Shahid M.* (2011), Aqueous enzymatic process for oil and protein extraction from Moringa oleifera seed, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 11, pp. 1012—1018.
10. *Latif S, Anwar F, Ashraf M.* (2007), Characterization of enzyme-assisted cold-pressed cottonseed oil, *Jornal of Food Lipids*, 14, pp. 424—436.

11. *Rosenthal A, Pyle D, Niranjan K.* (1996), Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction, *Enzyme Microbial Technology*, 19, pp. 402—420.
12. *Smith D, Agrawal Y, Sarkar B, Singh B.* (1993), Enzymatic hydrolysis pretreatment for mechanical expelling of soybeans, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70, pp. 885—890.
13. *Sosulski K, Sosulski F.* (1993), Enzyme-aided vs. two-stage processing of canola: technology, product quality and cost evaluation, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70, pp. 825—829.
14. *Soto C, Chamy R, Zuniga M.* (2007), Enzymatic hydrolysis and pressing conditions effect on borage oil extraction by cold pressing, *Food Chemistry*, 102, pp. 834—840.
15. Жири та олії. Тваринні і рослинні. Визначання пероксидного числа. (ISO 3960:1998, IDT) : ДСТУ ISO 3960-2001. — [Чинний від 01.01.2003]. — Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. — 6 с.
16. Жири та олії тваринні і рослинні. Визначання анізидінового числа (ISO 6885:1998, IDT) : ДСТУ ISO 6885-2002. — Введ. в дію 01.10.03. — Київ : Держспоживстандарт України, 2003. — 11 с.
17. Масла растительные. Методы определения массовых долей витаминов А и Е: ГОСТ 30417-96. — Дата введ. 01.01.1999. — Київ: ГОССТАНДАРТ України, 1998. — 12 с.

## METHODOLOGY FOR DEVELOPING MODERN REGULATORY AND TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION FOR FOOD PRODUCTS MANUFACTURING ACCORDING TO INTERNATIONAL STANDARDS

Ya. Verkhivker, E. Mirosnichenko, E. Altman  
*Odessa National Academy of Food Technologies*

---

**Key words:**

*World Trade Organization  
Structure of technological normative documents*

**Article history:**

Received 16.09.2017  
Received in revised form 04.10.2017  
Accepted 27.10.2017

**Corresponding author:**

Ya. Verkhivker

**E-mail:**

yaverkhivker@gmail.com

---

**ABSTRACT**

For a long time, the process of issuing a new range of products has been little associated with the research and engineering activities of enterprises. In connection with the development of new and specialized products, there is an urgent need for food diversity, for creating the opportunity to select products and reduce their cost as well as for implementing the principles of healthy eating. Currently, social and technological changes, the development of information technology in developed countries and economic growth in a number of developing countries have stimulated the accelerated growth of the food industry. Accession of Ukraine to the World Trade Organization and the European vector of political development of our country give task for food and canning industry producers to develop the identical requirements for the structure of technological normative documentation. In order to develop a generalized approach to the realization of the goal set in the study, it is necessary to analyze the main structural differences between domestic and European normative and technological documentation using the example of specific acting identical documents for the same final product and to create a draft of new documents taking into account the advantages of both approaches.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-29

---

## МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ СУЧАСНОЇ НОРМАТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

Я.Г. Верхівкер, О.М. Мирошніченко, Е.І. Альтман  
*Одеська національна академія харчових технологій*

*У статті розглянута проблема, пов'язана з існуванням великої кількості чинною нормативної документації з виробництва консервованих харчових продуктів з плодоовочевої сировини, яка значною мірою не корегується між*

собою. Відсутність у цій документації єдиного підходу до визначення якості та безпечності харчового продукту не дає змоги забезпечити розвиток консервної галузі харчової промисловості як структурованого комплексу взаємозалежних системотворчих елементів. У зв'язку з цим запропоновано компіляційний підхід, що передбачає створення нормативної документації на основі існуючих вітчизняних та європейських документів на аналогічні види готової продукції, а за їх відсутності — на основі базових документів зі стандартизації.

**Ключові слова:** Всесвітня торговельна організація, структура технологічної нормативної документації.

**Постановка проблеми.** Підвищення якості харчової продукції є важливим і ефективним засобом забезпечення здоров'я населення країни. Розробка нового асортименту продуктів і технологій їх виробництва становить найбільш значущу частину діяльності промисловості. Це стає все більш актуальним у сучасних умовах інтенсивного розвитку харчової промисловості.

Протягом тривалого часу процес розробки асортименту продуктів був майже не пов'язаним з дослідницької та інженерною діяльністю підприємств. Серйозним стимулом до розвитку розробки нових і спеціалізованих видів продуктів стала гостра необхідність у продуктовому розмаїтті, створенні можливості вибору на полицях і зниженні собівартості продукції, реалізації принципів здорового харчування. Сьогодні соціальні й технологічні зміни, розвиток інформаційних технологій у розвинутих країнах та економічне зростання у ряді країн, що розвиваються, примушують харчову промисловість до прискореного розвитку.

Головним напрямом у виробництві консервованих харчових продуктів є забезпечення їх якості і безпеки при задоволеності споживача характеристиками кінцевого продукту. Досягти успіху на цьому напрямі можна розробкою нової сучасної технологічної нормативної документації, яка узгодить та скорегує існуючі документи та забезпечить введення до національної документації вимог міжнародних стандартів серії ISO 9000, підсистем безпеки на основі принципів HACCP — Hazard Analysis and Critical Control Point. HACCP — це науково обґрунтована система, що надає можливість виявляти, оцінювати і контролювати небезпечні чинники, значимі для безпеки харчової продукції і GMP, системи безперервного сенсорного контролю. Розробка методології, методів й засобів створення продуктів харчування на основі плодоовочевої сировини дасть змогу на сучасному науковому рівні вирішувати технологічні задачі і різко підвищити ефективність процесів консервного виробництва.

**Мета дослідження:** вивчити чинну вітчизняну нормативно-технологічну документацію на виробництво плодоовочевих консервів і дослідити її відмінності від світового законодавства за цією тематикою; розробити і науково обґрунтувати комплексну методологію, методики та процедури, що забезпечують безперервне поліпшення якості та безпечності консервованої харчової продукції з використанням сучасного технологічного обладнання і з використанням найбільш зручної для споживача тари.

**Викладення основних результатів дослідження.** Оскільки основним вітчизняним нормативним технологічним документом на виробництво гото-

вої продукції, в тому числі і в харчовій промисловості, є технічні умови (ТУ), то наведемо основні вимоги до їх оформлення.

Технічні умови містять такі структурні елементи:

- титульний лист;
- основну частину;
- обов'язкові, рекомендовані та довідкові додатки (при необхідності);
- аркуш реєстрації змін.

Основна частина ТУ включає такі розділи:

1. Галузь застосування.
2. Вимоги до якості і безпеки.
3. Маркування.
4. Упаковка.
5. Правила приймання.
6. Методи контролю.
7. Правила транспортування та зберігання.

Необхідність регламентації правил вживання (використання) харчового продукту в ТУ визначає розробник. У цьому випадку в ТУ може бути включений додатковий розділ «Правила застосування», який розміщують після розділу «Правила транспортування та зберігання».

Технічні умови можуть бути доповнені обов'язковими, рекомендованими і довідковими додатками. При цьому додатки розміщують безпосередньо після основної частини в порядку посилань на них у тексті ТУ.

Довідкові та рекомендовані додатки розміщують після обов'язкових додатків, а за їх відсутності — після основної частини в порядку посилань у тексті ТУ. Останнім розміщують довідковий додаток, що містить перелік посилальних документів. На цей додаток посилання в тексті ТУ не робиться.

Крім ТУ, не менш важливим нормативним документом є технологічна інструкція (ТІ).

Виготовлення продуктів (готової продукції) здійснюють відповідно до ТІ, яка містить вимоги до технології виробництва, починаючи від вхідного контролю до завершення приймального контролю готової продукції. Оновлення ТІ, включаючи внесення змін або такий перегляд, що може бути обумовлено зміненими вимогами до якості і безпеки продукту згідно з законами України, нормативними і технічними документами, а також вдосконаленням технологічного процесу, здійснює підприємство (організація) — держатель першотвору (оригіналу) ТІ.

Відміну ТІ здійснює підприємство (організація) — держатель першотвору за своїм рішенням або на основі вимог органів державного контролю та нагляду. З метою підготовки виробництва продуктів необхідного якості та безпеки виготовлювач розробляє план підготовки виробництва (ППП), що передбачає забезпечення виробництва сировинними, енергетичними та іншими ресурсами, технологічним обладнанням, засобами контролю якості, засобами упаковки і маркування, транспортування і зберігання.

Вимоги до змісту, викладу й оформлення технологічних інструкцій.

Технологічна інструкція містить такі структурні елементи:

- титульна сторінка;

- основна частина;
- додатки (за необхідності);
- лист реєстрації змін.

Основна частина ТІ включає такі розділи:

1. Галузь застосування.
2. Вимоги до сировини.
3. Технологія виробництва.
4. Виробничий контроль.
5. Транспортування і зберігання.
6. Санітарна обробка обладнання, інвентарю та тари.

Технологічні інструкції можуть бути доповнені обов'язковими рекомендаціями та довідковими додатками.

Чинні в Україні вимоги на основну нормативну технологічну документацію є дуже зарегульованими, тому що регламентують найдрібніші моменти викладання тексту документів [1—3].

Структура технічних умов не залежить від типу готової продукції, до її складу входять такі розділи, які не є важливими для конкретних видів, наприклад, харчових продуктів.

Безпечності харчових продуктів при споживанні людиною присвячено окремий підрозділ документації, однак такі найбільш важливі показники, як, наприклад, кількість важких металів у готовій продукції, проігноровані.

Європейська нормативна технологічна документація, як правило, представлена у вигляді директив Ради Європейського Співтовариства (ЄС), у яких наведено основні параметри конкретної готової продукції, однак не визначено умови її виготовлення. Таким чином, директиви Ради ЄС не мають зарегульованого вигляду і дають виробнику тієї чи іншої продукції чітко зрозуміти технологію її виробництва та яким параметрам вона повинна відповідати.

У зв'язку з цим підхід, який застосовується в Європейському Союзі (ЄС), ґрунтується на оцінці, контролі і зниженні ризиків. У рамках цього підходу уряд і промисловість несуть спільну відповідальність за виявлення чинників, які є небезпечними для харчової продукції, і пов'язаних з ними ризиків за принципом «від ферми до виделки». Оператори ринку харчової продукції відповідають за розробку і впровадження практики, яка сприяє відвертання, мінімізації чи усуненню таких небезпечних чинників (ХАССП), а державні органи відповідають за моніторинг і перевірку ефективності заходів щодо управління ХАССП (англ. — HACCP, Hazard Analysis and Critical Control Point) — це науково обґрунтована система, що дає змогу виявляти, оцінювати і контролювати небезпечні чинники, значимі для безпеки харчової продукції. ХАССП є інструментом оцінки небезпечних чинників і створення системи контролю, яка фокусується на превентивних заходах, а не на випробуванні кінцевого продукту. ХАССП ґрунтується на семи принципах: 1) виявлення будь-яких небезпечних чинників, прояв яких може бути відвернено, усунено або знижено до прийняттого рівня (аналіз небезпечних чинників); 2) визначення критичних точок контролю (КТК) на етапі (етапах) виробництва, де контроль є важливим для відвертання, усунення або зниження загрози до прийняттого рівня; 3) визначення критичних меж у КТК, які допомагають відокре-

мити прийнятне від неприйнятного з метою відвертання, усунення або мінімізації виявлених небезпечних чинників; 4) визначення і впровадження ефективних процедур моніторингу в КТК; 5) визначення дій, що коригують, для випадків, коли моніторинг вказує на втрату контролю над КТК; 6) встановлення процедур для регулярного виконання з метою контролю за тим, щоб заходи, представлені в пунктах 1—5, працювали ефективно; 7) ведення документації і записів, що відповідають масштабу і характеру продовольчого підприємства, для демонстрації ефективного застосування заходів, вказаних в пунктах 1—6.

Таким чином, згідно з прийнятим в Європейському Союзі підходом, який ґрунтується на оцінці ризиків, характеристики якості продукту (розмір, колір, запах і смак) зазвичай не є частиною системи продовольчого контролю. Навпаки, рішення про те, наскільки вони прийнятні, приймає безпосередньо ринок.

Європейський підхід у створенні нормативної і технологічної документації докорінно відрізняється від вітчизняного в тому, що, на відміну від вітчизняного законодавства, у якому в центрі уваги залишається відповідність кінцевої продукції технічним вимогам або стандартам, у законодавстві ЄС основу складають превентивні заходи та мінімізація ризиків, пов'язаних з кожним процесом по всьому продовольчому ланцюгу.

Ці відмінності мають велике значення для утримання й організації нормативно-правових актів, моніторингу і контролю, інспекції, випробувань, маркування харчових продуктів і розподілу відповідальності між державними органами, промисловістю і споживачами готової продукції для забезпечення безпеки харчових продуктів.

На підставі наведеної різниці між вітчизняним та європейським підходом у створенні нормативної й технічної документації, яка регламентує виробництво продуктів харчування, була зроблена спроба об'єднати всі переваги обох підходів та усунути, по можливості, найбільш вражаючі недоліки.

Для того, щоб спростити цю першу спробу об'єднання принципово різних за ідеологією підходів, було вибрано два нормативних документи на ідентичну продукцію, але один складено за правилами українського законодавства, а інший — за правилами ЄС.

Цими документами є:

1. ТУ У 15.3-01550872-001:2005 «Соки фруктові, овочеві та соковмісні продукти» від 21.06.2006 [4].

2. Зміна №1 до ТУ У 15.3.-01550872-001:2005 «Соки фруктові, овочеві та соковмісні продукти» [5].

3. Директива Ради 2001/112/ЄС від 20.12.2001 «Що до фруктових соків та деяких подібних продуктів, призначених для споживання людьми» [6].

4. Richtlinie 2009/106/EG Der Commission von 12.08.2009 zur Anderung der Richtlinie 2001/112/EG des Rates uber Fruchtsafre und bestimmte gleichartige Ereignisse fur die menschliche Ernahrung [7].

При укладанні нормативно-технологічного документа слід враховувати переваги кожного з підходів, оскільки вітчизняний та європейський підхід до складання нормативної технологічної документації суттєво відрізняються один від одного.



Поєднання обох підходів при розробці нормативного технологічного документа можливе, але потребує уважного розгляду вимог кожного пункту для усунення повторів та надання тексту чіткої структури й можливості вироблення якісної кінцевої продукції.

Для реалізації ідеї компіляційного підходу при створенні нормативної документації слід використовувати існуючі вітчизняні та європейські документи на аналогічні види готової продукції, а за їх відсутності за основу повинні бути використанні базові документи із стандартизації — ДСТУ 1.5:2003 Національна стандартизація. Правила побудови, викладання, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів та ДСТУ ISO/IEC Guide 59:2000 Кодекс ustalених правил стандартизації [8].

### **Висновки**

Результати науково-дослідної роботи (науково-практичне обґрунтування методології розробки сучасної нормативної технологічної документації для консервної промисловості) будуть корисними при розробці НТД і виробництві харчової продукції в АПК України та міністерством АПК України, на харчових підприємствах України тощо

Крім того, результати мають соціальний ефект, оскільки пропонується використання сучасних принципів створення нормативно-технологічної документації на виробництво харчової продукції. Запропонований компіляційний підхід передбачає створення нормативної документації на основі існуючих вітчизняних та європейських документів на аналогічні види готової продукції, а за їх відсутності за основу повинні бути взяті базові документи зі стандартизації.

### **Література**

1. Національна стандартизація. Основні положення [Текст]; ДСТУ 1.0:2003. — [Чинний від 2003-07-01], Київ : Держспоживстандарт України, 2003. — 18 с. — (Національні стандарти України).

2. Національна стандартизація. Основні положення [Текст]; ДСТУ 1.2:2003. — [Чинний від 2003-07-01], Київ : Держспоживстандарт України, 2003. — 12 с. — (Національні стандарти України).

3. Національна стандартизація. Основні положення [Текст]; ДСТУ 1.5:2003. — [Чинний від 2003-07-01], Київ : Держспоживстандарт України, 2003. — 15 с. — (Національні стандарти України).

4. ТУ У 15.3-01550872-001:2005 «Соки фруктові, овочеві та соковмісні продукти». [Чинний від 21.06.2006].

5. Зміна № 1 до ТУ У 15.3.-01550872-001:2005 «Соки фруктові, овочеві та соковмісні продукти».

6. Директива Ради 2001/112/ЄС «Що до фруктових соків та деяких подібних продуктів, призначених для споживання людьми». [Чинний від 20.12.2001].

7. Richtlinie 2009/106/EG Der Kommission vom 12.08.2009 zur Änderung der Richtlinie 2001/112/EG des Rates über Fruchtsäfte und bestimmte gleichartige Ereignisse für die menschliche Ernährung. (Директива 2009/106 / ЄС від 12.08.2009 р. Про внесення змін до Директиви Ради 2001/112 / ЄС щодо фруктового соку та деяких аналогічних продуктів споживання для людини).

8. Кодекс ustalених правил стандартизації. [Текст]; ДСТУ ISO/IEC Guide 59:2000. — [Чинний від 2001-07-01], Київ : Держспоживстандарт України, 2000. — 24 с. — (Національні стандарти України).

## DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PRODUCING SUMAC EXTRACT FOR FURTHER USE IN DAIRY PASTES TECHNOLOGY

N. Yushchenko, T. Grabova, U. Kuzmyk, V. Pasichnyi  
*National University of Food Technologies*

---

<b>Key words:</b> <i>Aromatic raw materials</i> <i>Sumac</i> <i>Whey</i> <i>Phenolic compounds</i>	<b>ABSTRACT</b> The article substantiates the feasibility of using sumac ( <i>Rhus L.</i> ) fermented pastes in technology as a source of biologically active compounds and to form the organoleptic properties of ready-to-eat products. Shredded sumac was used as an object in research. Methods and technological parameters of the sumac introduction were defined. It is established that sumac should be introduced in the form of an extract from whey. The efficiency of making the extract using a rotary—pulse extractor is proved. Rational modes of extraction for efficient extraction of phenolic compounds with P-vitamin activity (total content by gallic acid in routine, catechin) were defined, tannin — temperature 80...85° C — 10 minutes duration of the process. The content of phenolic compounds in the extract was — 107.8 mg/100 g, routines content — 3.4 mg/100 g, catechin — 1.9 mg/100 g of tannin — 1.4 mg/100 g, which will ensure the daily need in routine — by 5.7%, in catechin — 1.9% in tannin — by 0.7%.
<b>Article history:</b> Received 06.09.2017 Received in revised form 28.09.2017 Accepted 13.10.2017	
<b>Corresponding author:</b> N. Yushchenko <b>E-mail:</b> npnuht@ukr.net	

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-5-1-30

---

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ ЕКСТРАКТУ СУМАХУ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ У ТЕХНОЛОГІЇ КИСЛОМОЛОЧНИХ ПАСТ

Н.М. Ющенко, Т.Л. Грабова, У.Г. Кузьмик, В.М. Пасічний  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті обґрунтовано доцільність використання плодів сумаху (Rhus L.) у технології кисломолочних паст як джерела біологічно активних сполук та з метою формування органолептичних властивостей готових продуктів. Як об'єкт дослідження використовували подрібнені плоди сумаху. Визначено спосіб і технологічні параметри введення плодів сумаху. Встановлено, що сумах доцільно вводити у вигляді екстракту на основі молочної сироватки. Доведено ефективність виготовлення екстракту з використанням роторно-імпульсного екстрактору. Визначено раціональні режими екстрагування за ефективністю вилучення фенольних сполук с Р-вітаміною активністю (загальний вміст по галовій кислоті, рутину, катехіну), таніну — темпе-*

ратура 80...85° С, тривалість процесу — 10 хвилин. Вміст фенольних сполук у екстракті становив — 107,8 мг/100 г, вміст рутину — 3,4 мг/100 г, катехіну — 1,9 мг/100 г, таніну — 1,4 мг/100 г, що дасть змогу забезпечити добову потребу відповідно у рутині — на 5,7%, катехіні — на 1,9%, таніні — на 0,7%.

**Ключові слова:** пряно-ароматична сировина, сумах, фенольні сполуки.

**Постановка проблеми.** Розроблення нових видів кисломолочних продуктів з використанням природних інгредієнтів, що збагачують продукт біологічно активними речовинами, є актуальним. З цією метою використовують різноманітні добавки та наповнювачі: харчові волокна, сухі фрукти, овочі та прянощі. Прянощі відомі широкою гамою смако-ароматичних властивостей, є джерелом біологічно активних сполук, серед яких фенольні сполуки, до складу яких входять рутин, катехіни, антоціани, флавонони, флавоноли тощо [1; 2]. Приготування екстрактів прянощів дає змогу більш повно вилучити біологічно активні речовини з рослинної сировини та використовувати їх у концентрованому вигляді [3; 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З аналізу досліджень відомо, що фенольні речовини містять велику кількість гідроксильних груп, які дають змогу антиоксидантні властивості, поглинати атомарний кисень, нейтралізувати вільні радикали та зупиняти ланцюгові реакції. Антиоксидантні властивості фенольних речовин у 4—5 разів переважають антиоксидантний потенціал вітамінів С та Е [5; 6]. Мономерні форми мають найбільшу біологічну активність з усіх представників фенольних речовин, основними серед яких є лейкоантоціани та катехіни. Вони регулюють проникність капілярів і збільшують пружність їх стінок, а також сприяють більш ефективному використанню організмом аскорбінової кислоти. Катехіни також відносять до речовин, що володіють Р-вітамінною активністю, і використовують при лікуванні захворювань, пов'язаних з порушеннями функцій капілярів, набряках судин. Лейкоантоціани мають кардіологічну дію [7; 8].

Для створення нових видів молочних продуктів обрали подрібнені плоди прянощі сумах (*Rhus L.*). Сумах містить багато органічних кислот, вітамін С, наявні яблучна, лимонна, винна, янтарна, малеїнова, фумарова, аскорбінова кислоти. До складу також входять леткі олії, альдегіди, терпеноїди, жирні олії. Вміст ефірної олії до 3%, головний компонент якої мірцен (до 52%).

**Мета дослідження:** вивчення зміни кількісного вмісту біологічно активних речовин в прянощі сумах у процесі екстрагування за різних температурних режимів і тривалості процесу.

**Матеріали і методи.** Дослідження здійснювались у межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Наукові засади розроблення ресурсощадних технологій білоквмісних поліфункціональних концентратів для харчових продуктів цільового призначення» (№ держреєстрації 0117U001243).

Приготування екстракту здійснювалось із використанням роторно-імпульсного апарата (PIA). Застосування роторно-імпульсних екстракторів дає змогу

інтенсифікувати вилучення екстрактивних речовин порівняно із традиційними методами, покращити мікробіологічні показники отриманих екстрактів за рахунок герметичності контуру та забезпечити енергоефективність процесу.

Сумарний вміст фенольних сполук визначали за допомогою електрофотокolorиметри КФК-2МП при довжині хвилі 640 нм, із застосуванням реактиву Фоліна-Чокальтеу, що складається із суміші фосфорно-вольфрамової й фосфорно-молібденової кислот, які відновлюються під час окиснення фенолів до суміші оксидів. При цьому утворюється блакитне забарвлення, інтенсивність якого пропорційне кількості фенольних речовин. Кількість фенольних сполук визначалась за допомогою каліброваного графіка, побудованого за стандартними розчинами галової кислоти.

Визначення вмісту таніну, рутину та катехіну визначали методом титрування 10 см<sup>3</sup> екстракту 0,1 н розчином КМ<sub>n</sub>О<sub>4</sub>. Завершення процесу титрування встановлювали за появою золотисто-жовтого відтінку розчину. Результат множився на перерахунковий коефіцієнт (для переведення 0,1 н розчину КМ<sub>n</sub>О<sub>4</sub> в 1 мг фенольних сполук, що містяться в 10 см<sup>3</sup> взятого на титрування екстракту). Коефіцієнт перерахунку становив: для таніну 4,16; рутину — 9,8; катехіну — 5,5.

**Викладення основних результатів дослідження.** На підставі попередніх досліджень розроблені рецептури кисломолочних паст, до складу яких входить екстракт сумаху. Завдяки збалансованому співвідношенню основних харчових компонентів: білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів кисломолочні пасти володіють дієтичними властивостями. Введення до складу кисломолочної основи натуральної пряно-ароматичної сировини дає змогу не тільки отримати продукти з оригінальними органолептичними показниками, а й збагатити комплексом біологічно активних сполук. Перспективним у цьому напрямі є використання плодів сумаху, що надають продуктампряного аромату із слабкою кислинкою та забезпечують приємне рожево-малинове забарвлення, стійке до технологічного оброблення та під час зберігання готових продуктів. Попередніми дослідженнями визначено доцільність використання сумаху у вигляді екстракту на основі молочної сироватки (гідромодуль — 10). Плоди сумаху попередньо подрібнювались до розміру частинок не більше 2 мм. Метою подальших досліджень було уточнення технологічних параметрів отримання екстракту сумаху із використанням роторно-імпульсного екстрактора.

На першому етапі досліджень температуру процесу змінювали від 20 до 95° С з інтервалом у 5° С, тривалість процесу — до 30 хвилин, вимірювання здійснювали кожні 5 хвилин.

Вплив температури екстрагування й тривалості процесу на ступінь вилучення фенольних сполук наведено у табл. 1.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що із збільшенням температури процесу від 20 до 80° С ступінь вилучення фенольних сполук зростає, при подальшому підвищенні температури цей процес проходить дещо повільніше. Так, при збільшенні температури від 65 до 80° за тривалості процесу 10 хвилин вміст фенольних сполук підвищується на 7,6 мг/100 г, тоді

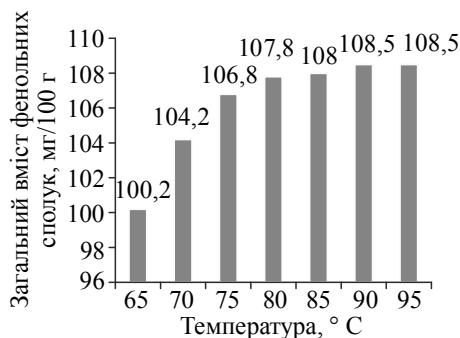
як при збільшенні температури від 80 до 95° С за тієї ж тривалості процесу вміст фенольних сполук підвищується всього на 0,7 мг/100 г. При цьому стабілізація показника вмісту фенольних сполук спостерігаються при тривалості процесу від 5 хвилин.

**Таблиця 1. Залежність вмісту фенольних сполук в екстракті сумаху від температури екстрагування й тривалості процесу ( $n = 3, P \geq 0,95$ )**

Температура, °С	Вміст фенольних сполук, мг/100 г						
	Тривалість витримки, хв						
	0	5	10	15	20	25	30
20	75,9	78,2	79,8	80,0	81,2	82,8	83,6
35	85,1	88,6	90,3	90,8	91,4	92,4	92,8
50	94,8	95,1	95,9	96,1	96,8	97,4	97,8
65	98,8	99,4	100,2	100,4	100,9	101,6	101,8
80	106,1	107,2	107,8	108,0	108,0	108,2	108,2
95	108,0	108,2	108,5	108,8	108,8	109,2	109,4

Оскільки підвищення температури негативно впливає на вміст біологічно цінних компонентів, на наступному етапі досліджень більш детально досліджували виділений діапазон температурних режимів екстрагування (від 65 до 95° С) з метою уточнення параметрів, за яких забезпечується ефективно вилучення біологічно активних речовин з плодів сумаху. Тривалість процесу при цьому становила 5 хвилин.

Встановлено, що вміст фенольних сполук в екстракті сумаху (рис. 1) значно зростає при підвищенні температури до 80° С — зі 100,2 до 107,8 мг/100 г, при подальшому підвищенні температури вміст фенольних сполук в екстракті практично не змінювався.



**Рис. 1. Вплив температури на вміст фенольних сполук в екстракті сумаху ( $n = 3, P \geq 0,95$ )**

Таким чином, для максимального вилучення фенольних сполук процес екстрагування потрібно проводити за температури не нижче 80° С.

Вміст рутину, катехіну й таніну при підвищенні температури також зростає (рис. 2). Так, за температури 65° С в екстракті сумаху вміст рутину становить 2,9 мг/100 г, катехіну — 1,6 мг/100 г, таніну — 1,2 мг/100 г, а за температури 95°С вміст рутину — 3,6 мг/100 г, катехіну — 2,0 мг/100 г, таніну — 1,5 мг/100 г.

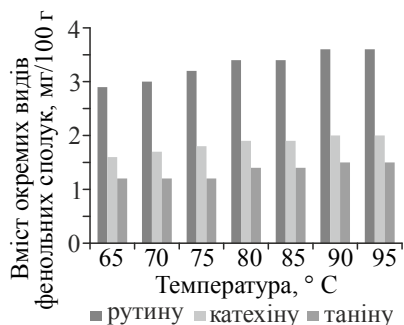


Рис. 2. Вплив температури на вміст рутину, катехіну і таніну в екстракті сумаху ( $n = 3, P \geq 0,95$ )

Здійснено розрахунок ступеня забезпечення добової потреби людини в окремих фенольних сполуках з Р-вітамінною активністю при вживанні 100 г кисломолочної паст (згідно з розробленими рецептурами доза введення екстракту — 10%). Результати розрахунків наведені на рис. 3. Дані свідчать, що споживання кисломолочних паст з екстрактом сумаху дасть змогу забезпечити добову потребу в рутині на 5,7%, таніні — на 0,7%, катехіні — на 1,9%.

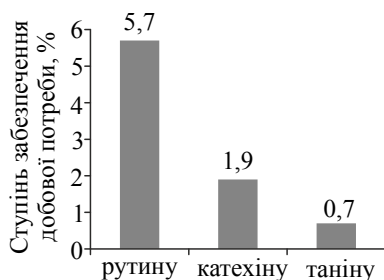


Рис. 3. Ступінь забезпечення добової потреби окремих видів фенольних сполук

### Висновки

На підставі аналізу результатів проведених досліджень визначено раціональні технологічні параметри отримання екстракту сумаху на основі молочної сироватки із використанням роторно-імпульсного екстрактора — температура 80...85° С, тривалість процесу — не менше 5 хвилин, що дає змогу максимально вилучити біологічно активні речовини з рослинної сировини та забезпечити енергетичну ефективність процесу. Використання екстракту сумаху в технології кисломолочних паст збагачує їх комплексом біологічно активних речовин, зокрема фенольних сполук із Р-вітамінною активністю та сприяє формуванню оригінальних органолептичних властивостей готових продуктів.

### Література

1. Осипова Л.А. Функциональные напитки на основе пряно-ароматического растительного сырья / Л.А. Осипова, Л.В. Капрельянц // Пищевая промышленность. — 2007. — № 9. — С. 74—75.

2. Павлюк Р.Ю. Розробка технології наноекстрактів та нанопорошків із прянощів для оздоровчих продуктів / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Л.О. Радченко, О.О. Юр'єва, А.Е. Гасанова, Т.С. Абрамова, Т.М. Коломієць // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — № 3/10(75). — С. 54—59.

3. Ширшова Т.И. Экстракция как метод выделения биологически активных соединений: краткий обзор / Т.И. Ширшова // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. — 2002. — № 57. — С. 41—42.

4. Бурцева Г.А. Экстракты специй / Г.А. Бурцева, К.В. Балакришнан // Пищевая промышленность: сырье и добавки. — 2002. — № 8. — С. 35—37.

5. Thiele Faccim de Brum HPLC Analysis of Phenolics Compounds and Antioxidant Capacity of Leaves of *Vitex megapotamica* (Sprengel) Moldenke / Thiele Faccim de Brum, Marina Zadra, Mariana Piana, Aline Augusti Boligon, Janaina Kieling Fröhlich, Robson Borba de Freitas, Sílvio Terra Stefanello, Amanda Luana Forbrig Froeder, Bianca Vargas Belke, Leticia Teixeira Nunes, Roberta da Silva Jesus, Michel Mansur Machado, João Batista Teixeira da Rocha, Félix Alexandre Antunes Soares, Margareth Linde Athayde // *Molecules*. — 2013. — № 18. — P. 8342—8357.

6. Boligon A.A. Antioxidant activities of flavonol derivates from the leaves and stem bark of *Scutia buxifolia* Reiss. / A.A. Boligon, R.P. Pereira, A.C. Feltrin, M.M. Machado, V. Janovik, J.B.T. Rocha, M.L. Athayde // *Bioresource technology*. — 2009. — № 100(24). — P. 6592—6598.

7. Абу Захер Кхалед Фармакологическое изучение антиоксидантных и мембраностабилизирующих свойств суммы катехинов и лейкоантоцианидинов / Абу Захер Кхалед, Н.С. Журавлев, Л.В. Деримедведь // Вісник фармації (Спецвипуск). — 2001. — № 3(27). — С. 170.

8. Барабой В.А. Катехины чайного растения: структура, активность, применение / В.А. Барабой // Биотехнология. — 2008. — Т. 1. — № 3. — С. 25—36.

## 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 даний 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 і на сайті журналу <http://journal.nuft.edu.ua>. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути опублікована 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 роздрукувань 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 (не більше чотирьох авторів).
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 650 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 основного матеріалу;
  - 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 ГОСТ 7.1:2006, ДСТУ ГОСТ 7.80:2007 і ДСТУ3582:2013. 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.