



---

---

2017

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 23 № 6

*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 # 7 of December, 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 № 7 від 28 грудня 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 Заїнчковський  
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 Sauganov

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 Zaviyalov

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 Leskauskaite</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 Malezhyk</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>Микола Прядко</b> <b>Mykola Pryiadko</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 Gusyatyunska</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 Полумбрік</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

### Автоматизація та інформаційні технології

Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Кишенько В.Д., Смітюх Я.В., Шумигай Д.А. Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 2. Приклади

Лисенко В.П., Засць Н.А., Опришко О.О., Комарчук Д.С. Статистичний аналіз оптичних образів об'єктів рослинних насаджень

Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Сич М.А. Моделювання оптимального автоматичного керування процесом біологічної очистки забруднених вод регуляторами дробового порядку

### Безпека харчових продуктів і охорона праці

Володченкова Н.В., Накемпій О.К. Дослідження стану повітря робочої зони кондитерів

### Біотехнологія і мікробіологія

Харченко Є.В., Скροцька О.І., Пенчук Ю.М., Боднар О.В. Препарати фактора некрозу пухлин: характеристики, способи отримання та модифікації

### Економіка і соціальний розвиток

Міненко М.А. Невизначеність інституційного середовища для сталого розвитку переробної промисловості України

Березянюк Т.В. Соціально-трудові практики підприємств харчової промисловості

### Процеси і апарати харчових виробництв

Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Степанець О.І., Бойко О.О., Вінніченко І.М. Динаміка перехідних процесів у системах анаеробного бродіння

Хитрий Я.С., Пономаренко В.В. Дослідження ежекторів з компактним і диспергованим струменем рідини для сульфитаторів у цукровій промисловості

Ступак Ю.О., Васильківський К.В. Інтенсивні технології енерго- і масообміну при стерилізації харчової продукції

Мірошник В.О., Кіктев М.О. Дослідження впливу характеристик зволоженого корму на параметри передатної функції об'єкта керування

### Тепло- і енергопостачання

Бржезицький В.О., Лапоша М.Ю., Маслюченко І.М., Хомініч В.І. Удосконалення високовольтних лінійних скляних ізоляторів

### Фізико-математичні науки

Король А.М., Литвинчук С.І., Гуцало І.В., Вишняк В.В. Тунельна прозорість графенової симетричної двобар'єрної структури з бар'єрами швидкості Фермі

## CONTENTS

### Automation and Information Technologies

7 Ladaniuk A., Lutska N., Kyshenko V., Smiutiukh Ia., Shumyhai D. Complexation of control theory methods in automation systems for technological plants. Part 2. Examples

21 Lisenko V., Zaiets N., Oprishko O., Komarchuk D. Statistical analysis of optical images of vegetable assemblies

28 Lobok O., Goncharenko B., Sych M. Modeling of optimal automatic control of the process of biological clearing of polluted waters by frozen order regulators

### Food Products Safety and Occupational Health

36 Volodchenkova N., Nakempiy L. Research of safety climate area confectionery

### Biotechnology and Microbiology

42 Kharchenko E., Skrotska O., Penchuk Yu., Bodnar O. Preparations of the tumor necrosis factor: characteristics, production methods and modification

### Enterprise Economy and Social Development

49 Minenko M. Uncertainty of the institutional environment for the sustainable development of the processing industry of Ukraine

58 Berezianko T. Social and labour practices of corporates in food industry

### Processes and Equipment for Food Industries

68 Shevchenko O., Sokolenko A., Stepanets O., Boiko O., Vinnichenko I. Dynamics of transition processes in systems of anaerobic fermentation

77 Khitriy Ya., Ponomarenko V. The research of ejector with a compact and atomized liquid jet for sulphitation in the sugar industry

86 Stupak Y., Vasilkovskiy K. Intensive technologies energy-, mass transfer during sterilization of food products

92 Miroshnik V., Kiktev N. Investigation of the influence of the characteristics of the damp feed on the parameters of the transferable function of the control object

### Heat and Electricity

101 Brzhezytskyi V., Laposha N., Maslyuchenko I., Khominich V. Improvement of high-voltage glass insulators

### Physical and Mathematical Sciences

112 Korol A., Litvynchuk S., Hutsalo I., Vyshniak V. Tunneling transparency of the graphene symmetrical double-barrier structure with the Fermi velocity barriers

## Харчові технології

Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В. Оцінка мікробіологічної чистоти заморожених і дефростованих ягід

Оболкіна В.І., Носенко Т.Т., Дзигар О.О., Рахметов Д.Б. Вивчення вмісту біологічно активних сполук у листі монарди двійчастої з метою використання пряно-ароматичної фітосировини при створенні крекера з подовженим терміном придатності

Бортнічук О.В., Доценко В.Ф., Цирульнікова В.В. Вплив поліпшувачів на біохімічні процеси в тісті з пшеничними висівками і сухою молочною сироваткою

Грек О.В., Онопрійчук О.О., Тимчук А.В., Овсієнко К.В. Визначення показників якості альбумінової пасти з клітковиною

Рожно О.В., Юрчак В.Г., Рак В.П. Дослідження харчової, біологічної цінності та перетравлюваності безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна

Дробот В.І., Михонік Л.А., Грищенко А.М. Вплив структуроутворювачів на якість безглютенового хліба із суміші рисового та кукурудзяного борошна

Скочко О.І., Кишенько І.І. Вивчення криопротекторних властивостей харчових волокон у складі м'ясних фаршевих систем

Пешук Л.В., Горбач О.Я. Розробка комплексної білково-мінерально-вуглеводної добавки на основі білків тваринного походження

Дорохович А.М., Петренко М.М. Вплив зшитого крохмалю, інуліну та білкових ізолятів на процес термооброблення затяжного печива спеціального призначення

Гусятинська Н.А., Нечипор Т.М. Ефективність сучасних дезінфектантів при переробленні цукрових буряків, уражених бактеріями роду *Leuconostoc*

Бессараб О.С., Писарев М.Г., Бандуренко Г.М. Розроблення технології сушеного напівфабрикату з молодію картоплі

Українець А.І., Булій Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М. Ресурсо- та енергозберігаюча технологія ректифікованого етилового спирту

Шаркова Н.О., Жутокський Е.К., Декуша Г.В., Костянець Л.О. Дослідження динамічної в'язкості водної суспензії плодового тіла гриба шиїтаке

## Хімічні науки

Майборода О.І., Сімурова Н.В., Ковальова С.О., Брицун В.М. Синтез 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону та його N-похідних

**Зміст журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» за 2017 рік**

## Food Technology

119 Simakhina G., Khalapsina S. Estimating the microbiological purity of frozen and defrosted berries

127 Obolkina V., Nosenko T., Dzyhar O., Rakhmetov D. Study of the content of biologically active compounds in monarda didyma leaves with aim of the use of spice-aromatic phyto raw materials in production of crackers with extended shelf life

138 Bortnichuk O., Dotsenko V., Tsirulnikova V. Influence of improvers on biochemical processes in the dough with wheat bran and dry whey

149 Grek O., Onopriichuk O., Tymchuk A., Ovsienko K. The definition of the quality indicators of albumine paste with potato cellulose

158 Rozhno O., Yurchak V., Rak V. Research of food, biological value and digestibility of gluten-free pasta made from corn flour

169 Drobot V., Mykhonik L., Gryshchenko A. The influence of structure forming food additives on the quality of gluten-free bread made from the mixture of rice and corn flour

176 Skochko O., Kyshenko I. Study of cryoprotectoral properties of food fibers in the composition of meat pharmaceuticals systems

182 Peshuk L., Gorbach O. Development of a complex protein-mineral-carbohydrate supplement based on animal proteins

192 Dorohovych A., Petrenko M. The influence of the starch, inulin and protein isolates on the process of thermal processing of protracted cookies for special purpose

199 Husyatynska N., Netchypor T. The efficiency of modern disinfectants in the sugar beet processing affected by bacteria of *Leuconostoc*

207 Bessarab O., Pisarev M., Bandurenko H. Development of technology of dried semi-finished product from young potatoes

213 Ukrainets A., Buliy Y., Shiyanyan P., Kuts A. Resource-saving technology of rectified ethyl alcohol

219 Sharkova N., Zhukotsky E., Dekusha G., Kostyanets L. Investigation of dynamical viscosity of water suspension of shiitake sporocarp

## Chemical sciences

226 Maiboroda O., Simurova N., Kovaleva S., Britsun V. Synthesis of 2-(4'-piperidylmethyl)-2,3-dihydro-1H-benzo[de]isochinoline-1,3-dione and its N-derivatives

233 **Contents of the journal "Scientific Works of the National University of Food Technologies" for 2017**

УДК 681.513.8

## **COMPLEXATION OF CONTROL THEORY METHODS IN AUTOMATION SYSTEMS FOR TECHNOLOGICAL PLANTS. PART 2. EXAMPLES**

**A. Ladaniuk, N. Lutska, V. Kyshenko, Ia. Smitiukh, D. Shumyhai**  
*National University of Food Technologies*

---

<b>Key words:</b> <i>Complexation</i> <i>Robustness</i> <i>Coordination</i> <i>Uncertainty</i> <i>Emergent properties</i>	<b>ABSTRACT</b> The paper gives the examples of synthesis of existing methods and principles of control to get new, more sophisticated systems that have emergent properties and increase the efficiency of complex technological systems. Authors proposed combination of robust and predictive controllers, fuzzy and neural systems, situational control and coordination, synergy and analytical methods. New control systems because of their new properties, that can not be obtained by trivial use both methods chosen for complexation, provide qualitative and efficient control of complex plants for which the standard control system can not guarantee the required accuracy.
<b>Article history:</b> Received 01.11.2017 Received in revised form 28.11.2017 Accepted 15.12.2017	
<b>Corresponding author:</b> A. Ladaniuk <b>E-mail:</b> npnuht@ukr.net	
<b>DOI:</b> 10.24263/2225-2924-2017-23-6-3	

---

## **КОМПЛЕКСУВАННЯ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ. ЧАСТИНА 2. ПРИКЛАДИ**

**А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх, Д.А. Шумигай**  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розглядаються приклади комплексного використання існуючих методів і принципів керування для отримання нових, більш досконалих систем, які мають властивості емерджентності та дають змогу збільшити ефективність функціонування складних технологічних комплексів. Наводяться приклади комплексування робастного та предиктивного регуляторів, нечітких і нейромережових систем, ситуаційного та координаційного керування, аналітичних і синергетичних методів. Новостворені системи керування завдяки своїм новим властивостям, які неможливо отримати при тривіальному використанні обох методів, обраних для комплексування, забезпечують якісне й ефективне керування складних об'єктів, для яких стандартні системи керування не можуть гарантувати необхідної точності за умови енегро- та ресурсоефективності.*

**Ключові слова:** технологічні об'єкти, методи керування, комплексування методів.

**Постановка проблеми.** Технологічні об'єкти, в тому числі харчових виробництв, мають усі характерні ознаки складних організаційно-технологічних систем. Вони являють собою сукупність різних підсистем, зв'язаних між собою процесами інтенсивної взаємодії та обміну енергією, речовиною та інформацією. Такі підсистеми є нелінійними, нестационарними, багатомірними та складнозв'язаними, в них тривають характерні перехідні процеси та виникають критичні й хаотичні режими. Проблема керування такими складними технологічними системами є надзвичайно актуальною з точки зору підвищення ефективності їх функціонування. Однак технологічний об'єкт не можна розглядати однобічно, надаючи перевагу якійсь одній характеристиці, виключаючи іншу, наприклад, лише нелінійність або лише нестационарність. Тому логічним шляхом вдосконалення таких систем є комплексування методів теорії керування, що поєднує різні методики досягнень сучасної теорії й практики автоматизованого керування та передових комп'ютерних технологій.

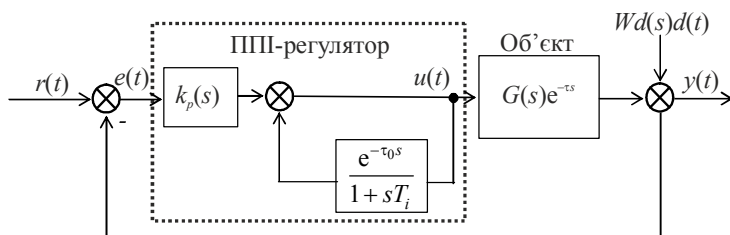
Загальна характеристика методів сучасної теорії керування, які при комплексуванні можуть приводити до суттєвого покращення процесу функціонування технологічних комплексів щодо ресурсо- і енергоефективності й точності регулювання, розглянуто в першій частині статті [1].

**Мета дослідження:** навести приклади моделювання систем керування, що використовують два або більше різнотипних методів синтезу для технологічних об'єктів, та оцінити ефект емерджентності щодо їх властивостей (стійкість, якість).

**Викладення основних результатів дослідження:**

*1. Робастні системи керування для систем із запізнюванням*

Розглянемо покращення якості перехідних процесів при введенні робастного регулятора в структуру системи з предиктивним пропорційно-інтегральним регулятором (ППІ-регулятор). Як відомо [2], система з ППІ-регулятором компенсує запізнювання за каналом керування (рис. 1), покращуючи перехідні процеси в системі, але якщо запізнювання в моделі ( $\tau_0$ ) та об'єкті ( $\tau$ ) не збігається, то перехідні процеси суттєво погіршуються. Крім того, така система виконує лише стеження за завданням ( $r(t)$ ) та погано придушує зовнішні збурення ( $d(t)$ ).



**Рис. 1.** Структура системи з ППІ-регулятором

Синтезуємо налаштування  $k_p$  та  $T_i$  ППІ-регулятора, використовуючи теорію чутливості. Запишемо функцію чутливості та додаткової чутливості:



$$S(s) = \left[ 1 + G(s)e^{-\tau s} K(s) \right]^{-1}, \quad (1)$$

$$T(s) = G(s)e^{-\tau s} K(s) \left[ 1 + G(s)e^{-\tau s} K(s) \right]^{-1} W_d(s),$$

де  $W_d(s)$  — вагова передатна функція, що обмежує частотний діапазон дії зовнішніх збурень і

$$K(s) = k_p \left[ 1 - \frac{e^{-\tau_0 s}}{1 + sT_i} \right]^{-1} = \frac{k_p (1 + sT_i)}{1 + sT_i - e^{-\tau_0 s}}. \quad (2)$$

Тоді можна розглянути оптимізаційну задачу знаходження параметрів ППІ-регулятора за критерієм змішаної чутливості:

$$\min_{k_p, T_i} \left\| \begin{matrix} W_1(s)S(s) \\ T(s) \end{matrix} \right\|_{\infty}, \quad (3)$$

де  $W_1(s)$  — вагова передатна функція, за допомогою якої налаштовується якість перехідних процесів. Мінімізація першої складової (3) визначає якісну міру відслідковування сигналу завдання  $r(t)$ , що залежить як від самого сигналу  $r(t)$ , так і від вимірювання помилки стеження  $e(t)$ , а також мінімізує зміну замкненої системи до малих параметричних збурень об'єкта. Друга складова (3) визначає міру стійкості зворотного зв'язку в контексті мультиплікативно збуреного об'єкта, а також стабілізацію системи відносно зовнішніх впливів. Отже, робастний ППІ-регулятор врахує область невизначеності об'єкта та регулятора, що викликані змінами параметрів об'єкта (корені характеристичного полінома й запізнювання передатної функції  $G(s)$ ) та запізнювання в регуляторі  $K(s)$ ). Задачу (1—3) можна розв'язати методами негладкого синтезу [3].

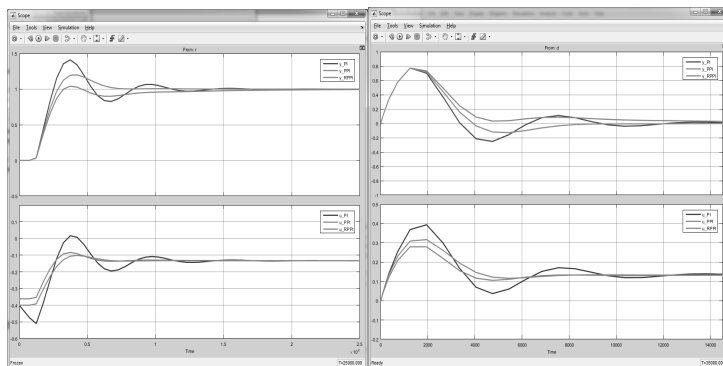
Розглянемо результати моделювання робастного ППІ-регулятора для регулювання концентрації сиропу випарної установки цукрового заводу. Математичну модель об'єкта в номінальному режимі за каналом концентрація сиропу після п'ятого корпусу  $b_5$  — витрата соку на перший корпус  $S_0$  апроксимується передатною функцією:

$$G_0(s) = -\frac{7.5}{3794s + 1} e^{-1200s}, \quad \left[ \frac{\text{кг/М}^3}{\text{кг/с}} \right], \quad (4)$$

де невизначеності обумовлені зміною коефіцієнта передачі, постійної часу та запізнювання в межах [7,2...7,7], [3550...3890], [1200...1600] відповідно. На практиці, як правило, при дослідженні системи з параметричними невизначеностями переходять до мультиплікативних невизначеностей виду, враховуючи таким чином ще й невизначеності в регуляторі.

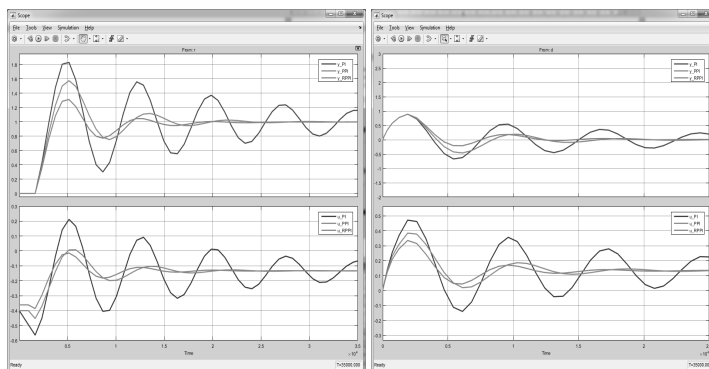
На рис. 2 і 3 наведені перехідні процеси відносно завдання та збурення при номінальних (стовбець *Nom*) і найгірших комбінаціях невизначеностей (стовбець *WC*), а в табл. 1 — порівняльні характеристики систем різними регуляторами. Як бачимо, робастний ППІ-регулятор має найкращу якість перехідних процесів при найгірших комбінаціях невизначеностей і трохи

гірші показники при номінальному режимі, крім того, ресурс у цієї ж системи найменший.



а) б)

**Рис. 2. Перехідні процеси відносно зміни завдання (а)  
та збурення при (б) номінальних невизначеностях**



а) б)

**Рис. 3. Перехідні процеси відносно зміни завдання (а)  
та збурення (б) при найгірших комбінаціях невизначеностей**

*Таблиця 1. Порівняльні характеристики систем з різними регуляторами*

Регулятор	Динамічна похибка, кг/м <sup>3</sup>		Ступінь затухання		Час перехідного процесу, с	
	<i>Nom</i>	<i>WC</i>	<i>Nom</i>	<i>WC</i>	<i>Nom</i>	<i>WC</i>
<b>Перехідні процеси відносно зміни завдання</b>						
ПІ (PI)	0,41	0,82	0,85	0,33	16500	>3500
ПІІ (PPI)	0,20	0,57	1,00	0,80	7500	2500
Робастний ПІІ (RPP)	0,1	0,31	0,98	0,85	1650	2000
<b>Перехідні процеси відносно збурення</b>						
ПІ (PI)	0,77	0,87	0,86	0,37	2000	>3500
ПІІ (PPI)	0,77	0,87	1,00	0,78	1000	2200
Робастний ПІІ (RPP)	0,77	0,87	0,96	0,73	1500	1550

Отже, комплексування робастного та предиктивного регулятора в умовах суттєвої зміни параметрів об'єкта, в тому числі і запізнювання, є логічним вдосконаленням якості та стійкості системи з невизначеностями. Моделювання робастного ППІ-регулятора показало гарні характеристики перехідних процесів як при номінальних, так і при суттєвих невизначеностях.

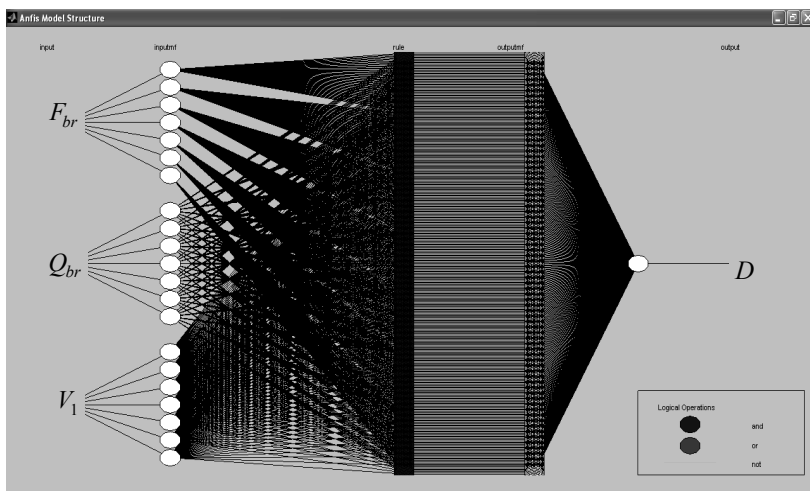
*2. Комплексування нечітких і нейромережових систем керування*

Іншим підходом до комплексування є використання двох або більше інтелектуальних методів керування [4; 5]. Розглянемо ідентифікацію витрати спирту  $D$  з ректифікаційної колони (РК) від витрати бражки  $F_{br}$ , температури бражки  $Q_{br}$  та витрати пари на бражну колону (БК)  $V_1$ :

$$D = f(F_{br}, Q_{br}, V_1) \tag{5}$$

На основі статистичних вибірок експериментальних даних генеруємо структуру нейро-нечіткої мережі (рис. 4). Створена мережа в цілому має три входи та один вихід, а її внутрішня структура складається з п'яти основних шарів, що й реалізують механізми логічних причинно-наслідкових зв'язків.

Наступним кроком до отримання дієздатної мережі є проведення навчання (налаштування) нейро-нечіткої мережі (ННМ) на основі методу зворотного поширення помилки. Для цього необхідно задати певну кількість циклів навчання. Після їх проведення отримуємо мережу з перерахованими параметрами функцій належності. Процедура перерахунку триває, поки нев'язка перевищує заздалегідь установлене значення (рис. 5). Для настроювання функцій належності, крім методу зворотного поширення помилки, можуть використовуватися й інші алгоритми оптимізації, наприклад, метод Левенберга-Марквардта.



**Рис. 4. Структура нейро-нечіткої мережі**

Досліджуючи основну динаміку зміни похибки мережі, можна побачити (рис. 5) її зміну у бік зменшення, що характеризує ефективний метод навчання та, відповідно, доцільність застосування такого підходу.

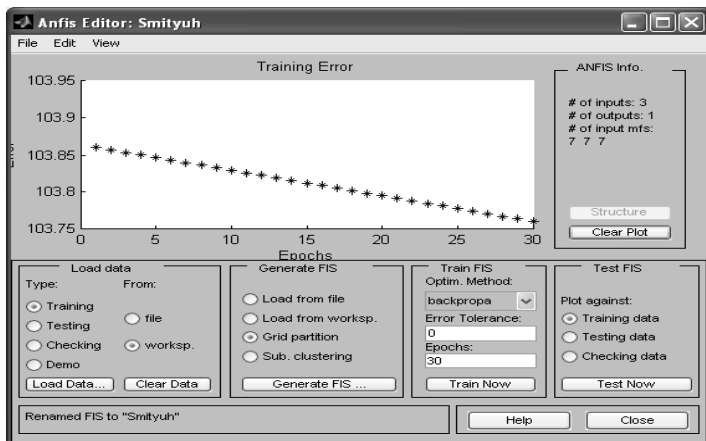


Рис. 5. Зміна похибки навчання мережі, що підтверджує приведення її до адекватності реальному об'єкту

Після проведених навчань, ННМ отримаємо графічну інтерпретацію відгуку бази знань, що характеризує залежність вихідної змінної від множини вхідних змінних.

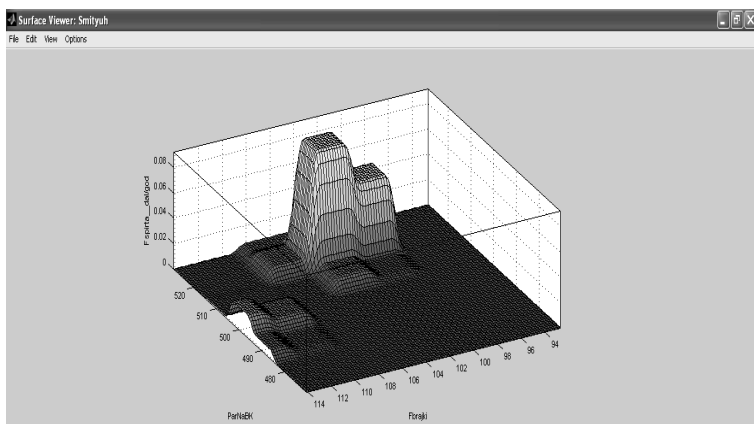


Рис. 6. Залежність витрати спирту з РК від витрати пари на БК і витрати бражки

Створена нечітка база знань показує всю множину нечітких залежностей і логіку кожного правила. Виходячи з отриманого результату, можна стверджувати, що зони екстремумів відповідають найкращим показникам продуктивності — витрати спирту при певних діапазонах витрати пари та витрати бражки на бражну колону, що може слугувати основою для підтримки прийняття рішень оператора технолога в різних виробничих ситуаціях.

Таким чином, вирішення задач ідентифікації на основі нейро-нечіткого підходу показало можливість встановлення причинно-наслідкових зв'язків між вхідними та вихідними змінними процесів брагоректифікації у вигляді нечітких правил. Розглянутий вище підхід дає змогу спростити роботу експертів при виявленні основних залежностей між вхідними та вихідними

змінними, оскільки, маючи лише експериментальну статистику роботи окремих колон БРУ, можна на основі отриманої бази знань досліджувати основні характеристики процесів брагоректифікації. Такий підхід може бути використаний для вирішення задач ідентифікації широкого класу складних ОУ та створення баз знань.

*3. Комплексування ситуаційного керування та методів координації*

Розглянемо комплексування ситуаційного керування та методів координації. Як об'єкт розглядається технологічний комплекс (ТК) цукрового заводу, який складається зі значної кількості функціонально необхідних ступенів переробки сировини та напівпродуктів і відноситься до складних систем, оскільки він має такі характерні ознаки: [6]: складність, спостережність, керованість, чутливість, стійкість, координованість, адаптивність, ефективність, надійність, матеріаломісткість, живучість, металомісткість, енергоємність, капіталомісткість, трудомісткість, які необхідно забезпечувати і підтримувати на належному рівні.

З одного боку, у ході виробництва цукру виникають труднощі при ідентифікації аварійних ситуацій, пов'язані зі складністю об'єкта управління (ОУ) та умов його функціонування. При цьому рішення оператора повинні прийматися оперативно, в реальному режимі часу, тому що затримка при реалізації керуючих впливів призводить до відчутних економічних втрат. Вирішення цієї проблеми для цукрових виробництв можливе на основі ситуаційного управління, яке, на відміну від класичної теорії, дає змогу здійснювати побудову логіко-лінгвістичних моделей, що забезпечують високий ступінь адекватності опису аварійних ситуацій, які виникають на ОУ. Функціональна структура інтелектуальної системи ситуаційного управління здійснює генерацію керуючих рішень на основі переробки даних і знань, що характеризують функціонування організаційно-ситуаційного об'єкта, представлена кортежем:

$$U = \langle K, M, D, C, S, L, E \rangle \quad (6)$$

де  $K$  — база знань;  $M$  — блок математичного моделювання;  $D$  — база даних;  $C$  — блок виведення управлінських рішень;  $S$  — блок аналізу ситуацій;  $L$  — лінгвістичний процесор;  $E$  — блок пояснення. Модель циклу прийняття рішень з управління в проблемних ситуаціях (ПС) — нештатних, критичних, аварійних — подається у вигляді просторової багатовимірної структури знань:

$$S' = \{S, M, A, E, D, X, G\}, \quad (7)$$

де  $S'$  — ситуація, яка виникла в результаті рішення;  $S$  — початкова ПС;  $M$  — множина моделей розвитку ПС;  $A$  — множина альтернатив розвитку ПС;  $E$  — множина критеріїв оцінки ефективності рішень;  $D$  — множина рішень;  $X$  — множина станів об'єкта;  $G$  — мета управління об'єктом.

З іншого боку, навіть коли система працює в штатному режимі, відбуваються суттєві втрати потенційного прибутку, тому що зазвичай не враховуються взаємні зв'язки між підсистемами, а при оцінці ефективності функціонування ТК саме взаємні зв'язки між підсистемами мають найбільш суттєве значення. Тобто не вирішується задача координації — пошук оптимальних значень технологічних змінних просто не відбувається.

Для вирішення задачі координації необхідно провести аналіз досліджуваного об'єкта, виділити підсистеми, критерій оцінки ефективності, сформулювати алгоритми координації та комплекс системи управління на основі виділених підсистем. Розв'язанням задачі координації є визначення взаємодії підсистем, при яких управління, оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем, є також оптимальними за загальним критерієм для ТК у цілому [7].

ТК цукрового заводу розглядається як сукупність підсистем дифузійного відділення, відділення очистки та випарного відділення, оскільки саме ці підсистеми мають нелінійні залежності. Наприклад, зі збільшенням відкачки дифузійного соку зменшується втрата цукру в жомі, що є покращенням ефективності функціонування ТК, проте зростають витрати на випарній установці, що, у свою чергу, зменшує ефективність.

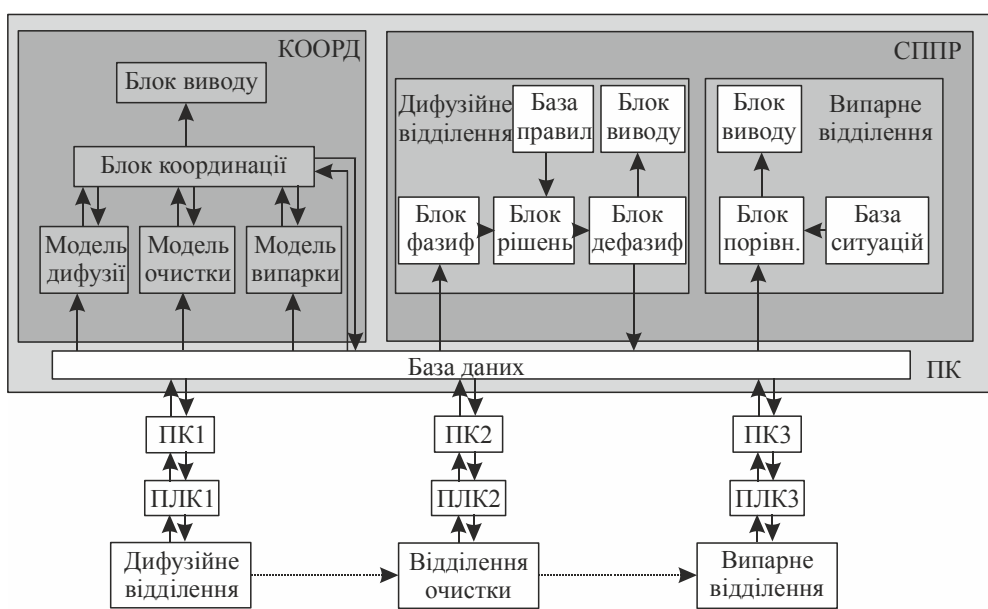
Моделі дифузійного та випарного відділень описуються в Simulink у вигляді систем диференціальних рівнянь. Модель відділення очистки вважається квазістаціонарною. Саме в цій моделі враховуються зміни матеріальних потоків. Загальна оцінка ефективності функціонування технологічного комплексу із системою управління виконується на основі узагальненого економічного показника — прибутку.

Детально структуру системи управління, яка була прийнята для досліджуваного об'єкта, відображено на рис. 7. На нижньому рівні виділені підсистеми (які мають найбільш складні нелінійні зв'язки), необхідні для управління кожної підсистеми ПЛК та ПК із SCADA. На верхньому рівні виділено структуру розробленої системи управління, яка, у свою чергу, складається з бази даних, куди записуються необхідні дані з кожної підсистеми та прийняті розробленою системою управлінські рішення, блоків координації та СППР. Блок координації з допомогою відомих математичних моделей за принципом прогнозування знаходить оптимальне рішення для збільшення ефективності функціонування ТК завдяки пошуку таких значень змінних, при яких прибуток ТК буде максимальним. Вирішення задачі координації має сприяти зменшенню ймовірності відхилень значень технологічних змінних за межі допустимих діапазонів. Блок СППР складається з двох складових.

Блок «дифузійне відділення» приймає рішення, використовуючи методи нечіткої логіки: за допомогою «блоку фазифікації» значення необхідних технологічних змінних перетворюються в нечіткі значення; при спрацюванні відомих правил з «бази правил» приймається відповідні рішення, після чого відбувається агрегація по кожній технологічній змінній; з допомогою «блоку дефазифікації» прийнятті рішення перетворюються у чітку форму і виводяться у зрозумілому для оператора вигляді. Правила для блоку «дифузійне відділення» формуються у форматі «якщо ..., то ...».

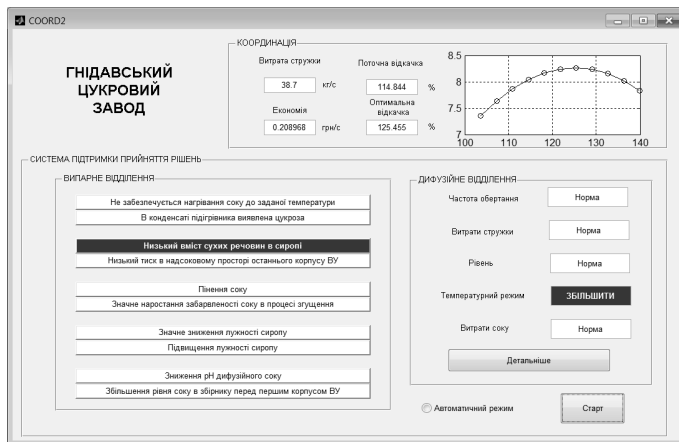
Блок «випарне відділення» за допомогою порівняння поточної ситуації з ситуаціями в «базі ситуацій» виводить інформацію оператору в разі виникнення нештатної ситуації в базі.

У випадку автоматичного режиму роботи прийняті рішення з «блоку координації» та «дифузійного відділення» записуються до бази даних.



**Рис. 7. Структура системи керування**

Програмне забезпечення розроблено в середовищі MATLAB (рис. 8) і складається з двох систем: системи розв’язку задачі координації та системи підтримки прийняття рішень (СППР) для дифузійного й випарного відділень.



**Рис. 8. Головне вікно розробленого програмного забезпечення**

Програма зчитує всі необхідні поточні дані з файлу excel, куди вони записуються автоматично за допомогою встановленої на заводі SCADA програми. Система може працювати в автоматичному та порадчому режимі.

У разі вибору «Автоматичний режим» прийняті системою рішення автоматично записуються до бази даних і через SCADA передаються на ПЛК та на виконавчі механізми.

Програма відображає поточне та рекомендоване значення відкачки, а також економію у разі зміни поточного значення на рекомендоване.

Програма відображає червоним кольором нештатні ситуації, які виникли, та поради (при натисканні на відповідну ситуацію) щодо їх усунення для СППР випарного відділення, а також поради у нечіткій та чіткій формі (при натисканні «Детальніше») для СППР дифузійного відділення.

Отже, програмне забезпечення запропонованої системи координації підсистем технологічного комплексу цукрового заводу на основі ситуаційного управління може бути інтегроване до вже існуючих АСУТП та дає змогу оперативно ідентифікувати виробничі ситуації; отримати оцінку поточного стану й ефективності ТК; оператору приймати рішення на основі рекомендацій, запропонованих системою; підвищити ефективність функціонування ТК за рахунок розв'язання задачі координації.

*4. Комплексування аналітичних і синергетичних методів синтезу систем керування*

Синергетику можна розглядати як сучасний етап розвитку ідей кібернетики та системних досліджень. Кібернетика та різноманітні напрямки загальної теорії систем вивчають процеси підтримання рівноваги (гомеостазу) у системах за рахунок зворотних зв'язків, а також процеси керування системами. Кібернетика намагається звести й описати нелінійні процеси еволюції систем за допомогою лінійних моделей (принаймні на окремих етапах, коли існує така можливість). Синергетика, базуючись виключно на нелінійних моделях, забезпечує ресурсоощадне керування на основі явищ самоорганізації в складних об'єктах.

У рамках синергетичного керування для технологічних комплексів раціонально використати метод аналітичного конструювання агрегованих регуляторів (АКАР), який дає змогу забезпечити оптимальний міжтрактивний перехід в об'єкті шляхом реалізації аналітично розрахованих слабкопотужних керувальних дій резонансного характеру.

Завдання синергетичного керування методом АКАР розглянемо на прикладі технологічного процесу попередньої дефекації.

Математична модель процесу попередньої дефекації має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{\text{CaO\_БМ}}}{d\tau} &= \frac{F_{\text{CaO\_БМ}} \cdot C_{\text{CaO}}^{\text{вх.}}}{V} - k_1 \cdot C_{\text{CaO}} \cdot C_{\text{с.р.}} - \frac{F_{\text{д.с.}} + F_{\text{зв.}}}{V} \cdot C_{\text{CaO}}, \\ \frac{dC_{\text{с.р.}}}{d\tau} &= \frac{F_{\text{д.с.}} \cdot C_{\text{с.р.}}^{\text{вх.}} + F_{\text{зв.}} \cdot C_{\text{с.р.}}^{\text{зв.}}}{V} - k_2 \cdot C_{\text{с.р.}} \cdot C_{\text{CaO}} - \frac{F_{\text{д.с.}} + F_{\text{зв.}} + F_{\text{CaO\_БМ}}}{V} \cdot C_{\text{с.р.}}, \quad (8) \\ \frac{dT_{\text{д.с.}}}{d\tau} &= \frac{F_{\text{CaO\_БМ}} \cdot T_{\text{CaO}}^{\text{вх.}} + F_{\text{д.с.}} \cdot T_{\text{д.с.}}^{\text{вх.}} + F_{\text{зв.}} \cdot T_{\text{зв.}}}{V} + \\ &+ [k_1 \cdot F_{\text{CaO\_БМ}} - k_2 (F_{\text{д.с.}} + F_{\text{зв.}})] \cdot Q - \frac{k_T \cdot F}{\rho \cdot C_p \cdot V} \cdot (T_{\text{д.с.}}^{\text{вх.}} - T_p) - \\ &- \frac{F_{\text{CaO}} + F_{\text{д.с.}} + F_{\text{зв.}}}{V} \cdot T_{\text{д.с.}} + \frac{T_{\text{д.с.}}^{\text{вх.}} - T_{\text{д.с.}}}{V} \cdot F_{\text{CaO\_БМ}}, \end{aligned}$$



$$\frac{dT_p}{d\tau} = \frac{(T_{\text{парі}} - T_p) \cdot F_{\text{парі}}}{V_p} - \frac{k_T \cdot F}{\rho_{\text{парі}} \cdot C_{\text{р.парі}} \cdot V_p} \cdot (T_p - T_{\text{д.с.}}),$$

де  $F_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}$  — витрата вапнякового молока, м<sup>3</sup>/год.;  $F_{\text{д.с.}}$  — витрата дифузійного соку, м<sup>3</sup>/год.;  $F_{\text{зв.}}$  — витрата соку повернення, м<sup>3</sup>/год.;  $T_{\text{д.с.}}$  — температура дифузійного соку, °С;  $T_{\text{д.с.}}^{\text{вх.}}$  — температура дифузійного соку на вході, °С;  $T_{\text{CaO}}^{\text{вх.}}$  — температура вапняного молока на вході, °С;  $T_{\text{зв.}}$  — температура соку повернення, °С;  $T_p$  — температура в паровій рубашці, °С;  $C_{\text{CaO}}$  — концентрація вапняного молока, %;  $C_{\text{с.р.}}^{\text{вх.}}$  — концентрація сухих речовин в дифузійному соку на вході, %;  $C_{\text{с.р.}}$  — концентрація сухих речовин у дифузійному соку, %;  $C_{\text{с.р.}}^{\text{зв.}}$  — концентрація сухих речовин соку повернення, %;  $C_{\text{CaO}}^{\text{вх.}}$  — концентрація вапняного молока на вході, %;  $C_{\text{р.парі}}$  — теплоємність пари в рубашці, кал/г;  $k_T$  — коефіцієнт теплопередачі;  $F$  — поверхня теплопередачі, м<sup>2</sup>;  $k_i = k_{i0} \cdot e^{-(E_i/(R \cdot (T_{\text{д.с.}} + 273,15)))}$  — константи швидкості реакцій;  $k_{i0}$  — передекспоненціальний коефіцієнт;  $E_i$  — енергія активації реакцій;  $R$  — універсальна газова стала;  $Q = \Delta H / (\rho \cdot C_p)$ ,  $\Delta H$  — тепловий ефект реакції (віднесений до швидкості по компоненті вапняного молока);  $C_p$  — теплоємність речовин в апараті та вихідних потоках, кал/г;  $V_p$  — об'єм парової рубашки теплообмінника, м<sup>3</sup>;  $V$  — об'єм переддефекатора, м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{парі}}$  — густина пари, г/м<sup>3</sup>;  $\rho$  — густина дифузійного соку, г/м<sup>3</sup>.

Проаналізувавши рівняння (8), можна зробити висновок, що система нелінійна та взаємозв'язана. Виходячи з цього, для розв'язання задачі оптимального керування застосуємо методологію синергетичного керування, а саме: метод аналітичного конструювання агрегованих регуляторів (АКАР).

Згідно з методом АКАР необхідно синтезувати закони керування  $u_1(C_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}, C_{\text{с.р.}}, T_{\text{д.с.}})$ , та  $u_2(C_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}, T_{\text{д.с.}}, T_p)$ , які забезпечують, при стабілізації температури дефекованого соку,  $T_{\text{д.с.}}$ , оптимальне значення величини рН, рН<sub>БМ</sub>, дефекованого соку, тобто  $T_{\text{д.с.}} = T_{\text{д.с.}}^0$ ,  $C_{\text{с.р.}} = C_{\text{с.р.}}^0$ . Як  $u_1$  вибираємо витрату вапняного молока  $F_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}$ ,  $u_2$  — витрата пари  $F_{\text{парі}}$ .

Враховуючи те, що система має два керувальних впливи, застосуємо паралельно-последовну процедуру розгляду інваріантних багатообразів:

$$\Psi_1(C_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}, C_{\text{с.р.}}, T_{\text{д.с.}}) = 0, \quad \Psi_2(C_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}, T_{\text{д.с.}}, T_p) = 0 \quad (9)$$

Паралельно введені багатообрази відіграють роль атракторів притягнення зображаючої точки замкненої системи при синтезованому законі керування  $u_1(C_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}, C_{\text{с.р.}}, T_{\text{д.с.}})$ , та  $u_2(C_{\text{CaO}_{\text{БМ}}}, T_{\text{д.с.}}, T_p)$ . При цьому зображаюча точка переміщується у фазовому просторі на перетин багатообразів  $\Psi_1 = 0$ ,  $\Psi_2 = 0$ .

Керування  $u_1$  входить в керування  $u_2$  підсистеми і безпосередньо впливає на величину рН дефекованого соку. Виходячи з цього, задаємо макрозмінну  $\psi_1$  у вигляді  $\psi_1 = C_{c.p.} - C_{c.p.}^0$ . Оскільки витрата пари  $u_2$  безпосередньо не впливає на температуру  $T_{д.с.}$ , то необхідно сконструювати функцію  $\psi_2(C_{CaO\_БМ}, T_{д.с.}, T_{p.}) = 0$ , яка зв'язувала б  $T_{д.с.}$  з фазовими координатами  $C_{CaO\_БМ}$  і  $T_{p.}$ .

Сконструюємо функцію зв'язку макрозмінних  $C_{CaO\_БМ}$  та  $T_{д.с.}$ :

$$\psi_2 = T_{p.} + \nu(C_{CaO\_БМ}, T_{д.с.}),$$

де  $\nu(C_{CaO\_БМ}, T_{д.с.})$  — функція залежності величини рН від температури в дефекаторі.

У випадку синтезу законів керування  $u_1(C_{CaO\_БМ}, C_{c.p.}, T_{д.с.})$  та  $u_2(C_{CaO\_БМ}, T_{д.с.}, T_{p.})$ , які переводять точку зображення в околицю перетину багатообразів:

$$C_{c.p.} - C_{c.p.}^0 = 0, T_{p.} + \nu(C_{CaO\_БМ}, (T_{д.с.}^{вх.} - T_{д.с.})) = 0. \quad (10)$$

Зміна макрозмінних  $\psi_1$  та  $\psi_2$  підпорядковуються виразу (9):

$$T_i \cdot \dot{\psi}_i(\tau) + \psi_i(\tau) = 0. \quad (11)$$

З урахуванням (10) рівняння (11) набуде вигляду:

$$T_1 \cdot \frac{dC_{c.p.}}{d\tau} + (C_{c.p.} - C_{c.p.}^0) = 0, \\ T_2 \cdot \left[ \frac{dT_{p.}}{d\tau} + \frac{\partial \nu}{\partial C_{CaO\_БМ}} \cdot \frac{dC_{CaO\_БМ}}{d\tau} + \frac{\partial \nu}{\partial T_{д.с.}} \cdot \frac{dT_{д.с.}}{d\tau} \right] + T_{p.} + \nu(C_{CaO\_БМ}, (T_{д.с.}^{вх.} - T_{д.с.})) = 0. \quad (12)$$

На основі рівняння моделі (8) і з урахуванням (12) сформулюємо закони взаємозв'язаного керування технологічним процесом дефекації:

$$u_1 = \frac{(F_{д.с.} \cdot C_{c.p.}^{вх.} + F_{зв.} \cdot C_{c.p.}^{зв.} - k_2) \cdot C_{c.p.} \cdot V - (F_{д.с.} + F_{зв.} + F_{CaO\_БМ}) \cdot C_{c.p.}}{C_{c.p.}} + \\ + \frac{V \cdot (C_{c.p.} - C_{c.p.}^0)}{C_{c.p.} \cdot T_1}, u_2 = \frac{(T_{p.} + \nu) \cdot V_{p.}}{(T_{пари} - T_{p.}) \cdot T_2} - \\ - \frac{k_T \cdot F}{\rho_{пари} \cdot C_{р.пари} \cdot V_{p.}} \cdot (T_{p.} - T_{д.с.}^{вх.}) - \frac{\partial \nu}{\partial C_{CaO\_БМ}} \times \\ \times \frac{(F_{CaO\_БМ} \cdot C_{CaO}^{вх.} - k_1 \cdot C_{CaO} - \frac{F_{д.с.} + F_{зв.}}{V} \cdot C_{CaO}) \cdot F_{CaO\_БМ} \cdot C_{CaO\_БМ}}{T_{пари} - T_{p.}}$$

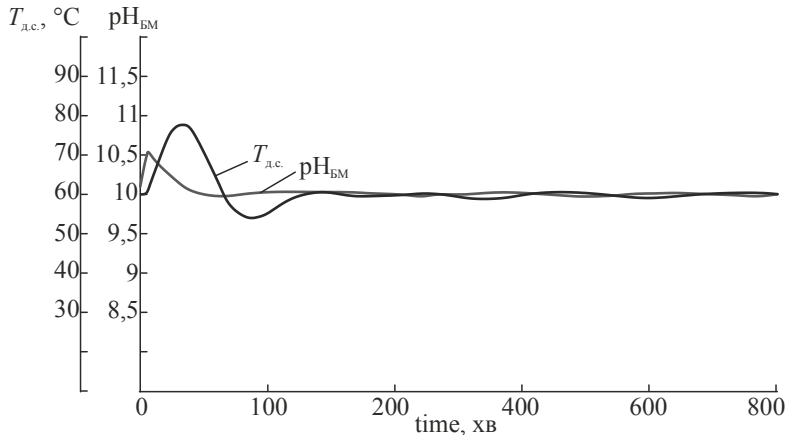
$$\begin{aligned}
 & -\frac{\partial v}{\partial T_{\text{д.с.}}} \cdot \left( \frac{F_{\text{CaO}_\text{БМ}} \cdot T_{\text{CaO}}^{\text{ВХ}} + F_{\text{д.с.}} \cdot T_{\text{д.с.}}^{\text{ВХ}} + F_{\text{зв.}} \cdot T_{\text{зв.}}}{V} + \right. \\
 & \quad \left. + [k_1 \cdot F_{\text{CaO}_\text{БМ}} - k_2 (F_{\text{д.с.}} + F_{\text{зв.}})] \times \right. \\
 & \times Q - \frac{k_T \cdot F}{\rho \cdot C_p \cdot V} \cdot T_{\text{д.с.}} - \frac{F_{\text{CaO}_\text{БМ}} + F_{\text{д.с.}} + F_{\text{зв.}}}{V} \cdot T_{\text{д.с.}} + \frac{T_{\text{д.с.}} - T_{\text{CaO}}^{\text{ВХ}}}{V} \times \\
 & \quad \left. \times F_{\text{CaO}_\text{БМ}} + T_p + T_{\text{д.с.}} \cdot F_{\text{CaO}_\text{БМ}} \right) \cdot V_p / T_{\text{парі}} - T_p.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Використовуючи отримані співвідношення, можна синтезувати керувальні впливи для технологічних операцій I та II сатурації, а також для проміжної дефекації.

Параметри налаштування законів керування регламентують час регулювання  $T_1, T_2$ . Умовою стійкості системи є такі значення:  $T_1 > 0, T_2 > 0$ .

На рис. 9 представлено результати моделювання динамічної системи із синтезованими регуляторами. При моделюванні використовувались усереднені технологічні показники параметрів процесу дефекації на обладнанні з продуктивністю 3 000 т/добу. Якість керування оцінювалася за інтегральним квадратичним критерієм.

Таким чином у результаті проведених досліджень було виявлено, що система стійка до збурень, а час регулювання залежить лише від величин  $T_1, T_2$ . Синтезована синергетична система керування довела свою працездатність, стійкість та ефективність.



**Рис. 9. Процес регулювання величини  $\text{pH}_{\text{БМ}}$  і температури  $T_{\text{д.с.}}$  дифузійного соку при взаємозв'язаному керуванні за умови  $T_1 = T_2 = 12$**

### **Висновки**

Приклади моделювання систем керування технологічними об'єктами, що поєднують сучасні методи теорії керування, довели свою працездатність. Ускладнення системи та введення нових алгоритмів у структуру керування технологічним об'єктом дає перевагу в значному покращенні якісних властивостей системи та забезпечує її автономну роботу на значно більшому проміжку часу експлуатації системи.

Наступним етапом теоретичного та практичного обґрунтування доцільності використання комплексування методів теорії керування є розробка умов застосування різних методів з урахуванням визначальних властивостей об'єкта та побудова класифікаційних ознак приналежності системи до відповідного класу методів керування.

### Література

1. *Ладанюк А.П.* Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 1 / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх, Д.А. Шумиґай // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — Київ : НУХТ. — 2017. — № 4. — С. 8—16.
2. *Leva A., Cox C., Ruano A.* Hands-on PID autotuning: a guide to better utilization. IFAC Professional Brief. — <http://www.ifac-control.org>.
3. *Apkarian P. and Noll D.* “Nonsmooth H-infinity Synthesis” IEEE Transactions on Automatic Control. — Vol. 51. — Number 1. — 2006. — P. 71—86.
4. *Ротштейн А.П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница : Универсум-Винница, 1999. — 320 с.
5. *Jang J.-S.R.* ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. — 1993. — Vol. 23. — P. 665—685.
6. *Месарович М.* Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Л. Мако, И. Такахара. — Москва : Мир, 1973. — 344 с.
7. *Ladanyuk A.* Situational Coordination of Continuous Technological Complexes Subsystems / A. Ladanyuk, D. Shumygai, R. Boiko // Journal of Automation and Information Sciences — USA. — Beggelhouse. — 2013. — Vol. 45. — P. 68—74.

УДК 519.222

## **STATISTICAL ANALYSIS OF OPTICAL IMAGES OF VEGETABLE ASSEMBLIES**

**V. Lisenko, N. Zaiets, O. Oprishko, D. Komarchuk**

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

---

**Key words:**

*Pattern recognition  
Spectral characteristics  
Additive color model  
Average  
Mod  
Median  
Correlation  
Normal distribution*

**Article history:**

Received 10.11.2017  
Received in revised form  
05.12.2017  
Accepted 26.12.2017

---

**Corresponding author:**

V. Lisenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-4

---

**ABSTRACT**

In the article it is shown that for the operative estimation and analysis of optical images of objects of plants using spectral characteristics in the optical range, data have considerable volumes. The data is represented by an additive color model in RGB format, which requires significant numerable resources for their use in neural networks. It is proposed instead of a large sample size on the input of the neural network to provide statistical characteristics of the sample, which reduces the numerable resource, while adequately representing the image.

## **СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ ОБРАЗІВ ОБ'ЄКТІВ РОСЛИННИХ НАСАДЖЕНЬ**

**В.П. Лисенко, Н.А. Заєць, О.О. Опришко, Д.С. Комарчук**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*У статті показано, що для оперативної оцінки та аналізу оптичних образів об'єктів рослинних насаджень із використанням спектральних характеристик в оптичному діапазоні, обсяги даних, представлених адитивною моделлю кольорів у форматі RGB, досить значні, що потребує суттєвих обчислювальних ресурсів для їх використання в нейронних мережах. Пропонується замість значної за обсягами вибірки на вхід нейронної мережі подавати статистичні характеристики вибірки, що скорочує обчислювальний ресурс, адекватно представляючи при цьому зображення.*

**Ключові слова:** *розпізнавання образів, спектральні характеристики, адитивна модель кольорів, середнє, мода, медіана, кореляція, нормальний розподіл.*

**Постановка проблеми.** З розвитком обчислювальної техніки стало можливим вирішити ряд завдань, що виникають у процесі управління об'єктами

аграрного спрямування, та дають можливість полегшити, прискорити, підвищити якість результату. Для оперативної оцінки станів рослинних насаджень потрібно створити систему розпізнавання образів, що дасть змогу оцінити оптичний образ досліджуваного об'єкта в комплексі системи дистанційного моніторингу станів посівів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розроблювана система дистанційного моніторингу станів посівів використовуватиметься при вирощуванні зернових культур (пшениці та кукурудзи) та створенні електронної мапи стану азотного (фосфорного, калійного) живлення рослин, а також при створенні й коригуванні існуючих агрохімічних картограм, коригуванні норм і доз добрив. Існує три групи методів розпізнавання образів [1]:

1. Порівняння із зразком: класифікація за найближчим середнім, класифікація за відстанню до найближчого сусіда та структурні методи розпізнавання.

2. Статистичні методи: використовують певну статистичну інформацію при вирішенні задачі розпізнавання. Метод визначає приналежність об'єкта до конкретного класу на основі ймовірності. В ряді випадків це зводиться до визначення апостеріорної ймовірності приналежності об'єкта до певного класу, за умови, що ознаки цього об'єкта мають відповідні значення.

3. Нейронні мережі. Окремий клас методів розпізнавання, характерною особливістю яких є здатність навчатися.

Очевидно, що використання методів розпізнавання образів, що відносяться до першої та другої групи, в нашому випадку неефективні, оскільки в процесі зміни типу насаджень потрібно буде змінювати і програмне забезпечення розроблюваної системи. Перевагою нейронних мереж перед традиційними алгоритмами є можливість їх навчання в процесі роботи.

**Мета дослідження:** провести статистичний аналіз оптичних образів об'єктів рослинних насаджень для зменшення об'єму вибірки вхідних даних, що представлені адитивною моделлю кольорів у форматі RGB.

**Матеріали і методика.** Нейронна мережа (НМ), яка застосовується для аналізу оптичних образів об'єктів рослинних насаджень, являє собою математичну модель паралельних обчислень, що містить взаємодіючі між собою прості процесорні елементи — штучні нейрони.

Для оперативної оцінки та аналізу оптичних образів об'єктів рослинних насаджень (полів) із використанням спектральних характеристик в оптичному діапазоні розбиваємо отримане зображення на частини площею  $10 \times 10$  метрів. Розмір площі визначається виходячи з технологічних габаритів машини внесення добрив і може коригуватися залежно від типу та марки обладнання. За результатами попередніх досліджень визначена оптимальна висота зйомки 100—120 м над полем. При масштабуванні отриманого зображення розмір площі внесення добрив  $10 \times 10$  метрів відповідає розширенню розміром  $128 \times 128$  пікселів. Обсяги даних представлені адитивною моделлю кольорів в форматі RGB. При переведенні зображення у векторну форму отримаємо вибірку достатньо великим об'ємом:  $128 \times 128 \times 3 = 49\,152$  комірки даних. З огляду на те, що для обробки та аналізу такого об'єму даних витрачається багато ресурсів і часу, виникає необхідність використання методів статистичного аналізу отриманих результатів адекватних завданню.

Проведемо розрахунок статистичних показників, які дають змогу оцінити максимальний і мінімальний елементи вибірки, середнє значення, медіану, моду, взаємний вплив аналізованих факторів та інші описові статистики. Головним завданням описової статистики є надання стислої та концентрованої інформації аналізу даних у числовому і графічному вигляді [3;4].

Показники описової статистики можна розподілити на кілька груп:

- показники стану, що описують стан експериментальних даних на числовій осі. Приклади таких даних — максимальний і мінімальний елементи вибірки, середнє значення, медіана, мода тощо;

- показники розкиду, що описують ступінь розкиду даних щодо центральної тенденції. До них відносяться вибіркова дисперсія, різниця між мінімальним і максимальним елементами (розмах, інтервал вибірки) тощо;

- показники асиметрії: положення медіани щодо середнього тощо;

- графічні представлення результатів: гістограма, частотна діаграма тощо.

Дані показники використовуються для наочного уявлення й аналізу результатів усієї дослідницької вибірки, експериментальної та контрольної групи. При використанні описової статистики важливо враховувати тип даних і параметри розподілу.

У статистиці такі показники розподілу як середнє, мода та медіана називають мірами центральної тенденції. Вони показують загальні характеристики розподілу даних за певною змінною, дають змогу виявити одне значення, що описує весь розподіл. Можна також сказати, що середнє, мода та медіана — це окремі значення, що представляють весь набір даних, типові для всіх значень у групі.

Міри центральної тенденції потрібні, щоб отримати загальну картину розподілу, отримати чітку картину даних, що досліджуються, та використовувати отримані дані при побудові нейронної мережі для визначення стану живлення рослин на основі отриманих оптичних образів.

Найвідомішою мірою центральної тенденції (і найбільш вживаною в повсякденному побуті) є середнє значення ряду даних. Кожне значення дає внесок у визначення середнього значення, коли поширення значень є симетричними довкола центральної точки. Середнє значення більш стабільне, ніж медіана чи мода. Тому, коли потрібно знайти найбільш стабільну міру центральної тенденції, використовують середнє.

Коли екстремальні значення впливають на середнє, медіана є найкращою мірою центральної тенденції. Медіану використовують, коли потрібно, щоб певні значення впливали на центральну тенденцію, але все, що про них відомо, це те, що вони «нижчі» або «вищі» за медіану. Недоліком використання медіани є те, що вона не так жорстко визначена, як середнє, оскільки її значення не вираховується, а знаходиться серед значень у розподілі. Також із медіаною потім не можна робити алгебраїчні перетворення, як із середнім.

Мода використовується, коли потрібна швидка і приблизна міра центральної тенденції. Вона не включає до розрахунку всі спостереження розподілу, а лише концентрацію частот. На моду ніколи не впливають екстремальні значення в розподілі, а лише екстремальні частоти значень, наскільки часто

те чи інше значення змінної зустрічається в розподілі. На відміну від середнього, подальші алгебраїчні перетворення моди неможливі.

**Результати і обговорення.** Для статистичного аналізу даних використаємо пакет прикладних програм STATISTICA, розроблений компанією StatSoft. У таблицях, наведених на рис. 1, 2, 3, змінні Var1, Var2 та Var3 відповідають числовим значенням адитивної моделі кольорів у форматі RGB: Var1 — R, Var2 — G та Var3 — B.

Розподіл, у якому всі три міри центральної тенденції збігаються, тобто середнє дорівнює медіані і дорівнює моді, називається нормальним [3; 4]. Для визначення характеру розподілу вхідних змінних визначимо частоту коливання їх значень. Частота коливання — це абсолютні числа, що показують стільки раз у сукупності зустрічається дане вхідне значення параметра.

Таблиця частот: Var1 (stat_analiz.sta) K-S d=,02257, p<,01 ;Лиллиефорса p<,01						
Група	Частота	Кумул. частота	Процент допуст.	Кумул. % допуст.	% всех наблюд.	Кумул. % от всех
<b>-50,0000&lt;x&lt;=0,000000</b>	<b>0</b>	0	0,00000	0,0000	0,00000	0,0000
0,000000<x<=50,000000	636	636	1,93897	1,9390	1,93891	1,9389
50,000000<x<=100,000000	13031	13667	39,72745	41,6664	39,72624	41,6651
100,000000<x<=150,000000	17202	30869	52,44352	94,1099	52,44192	94,1071
150,000000<x<=200,000000	1878	32747	5,72544	99,8354	5,72526	99,8323
200,000000<x<=250,000000	13	32760	0,03963	99,8750	0,03963	99,8720
250,000000<x<=300,000000	41	32801	0,12500	100,0000	0,12499	99,9970
Пропущ.	1	32802	0,00305		0,00305	100,0000

**Рис. 1. Таблиця частот коливання значень змінної Var1**

Таблиця частот: Var2 (stat_analiz.sta) K-S d=,01653, p<,01 ;Лиллиефорса p<,01						
Група	Частота	Кумул. частота	Процент допуст.	Кумул. % допуст.	% всех наблюд.	Кумул. % от всех
<b>-50,0000&lt;x&lt;=0,000000</b>	<b>0</b>	0	0,00000	0,0000	0,00000	0,0000
0,000000<x<=50,000000	62	62	0,18902	0,1890	0,18901	0,1890
50,000000<x<=100,000000	4595	4657	14,00872	14,1977	14,00829	14,1973
100,000000<x<=150,000000	21289	25946	64,90351	79,1012	64,90153	79,0988
150,000000<x<=200,000000	6626	32572	20,20060	99,3019	20,19999	99,2988
200,000000<x<=250,000000	188	32760	0,57315	99,8750	0,57314	99,8720
250,000000<x<=300,000000	41	32801	0,12500	100,0000	0,12499	99,9970
Пропущ.	1	32802	0,00305		0,00305	100,0000

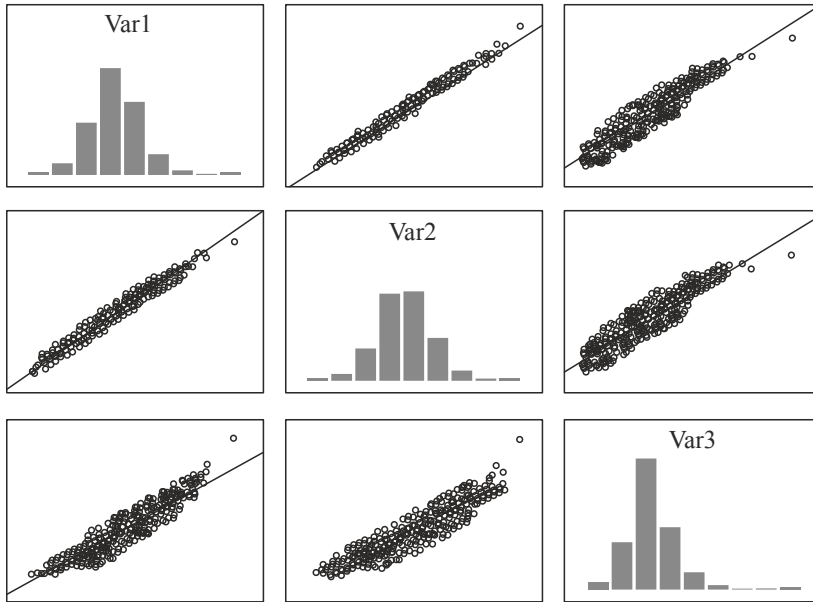
**Рис. 2. Таблиця частот коливання значень змінної Var2**

Таблиця частот: Var3 (stat_analiz.sta) K-S d=,05455, p<,01 ;Лиллиефорса p<,01						
Група	Частота	Кумул. частота	Процент допуст.	Кумул. % допуст.	% всех наблюд.	Кумул. % от всех
<b>-50,0000&lt;x&lt;=0,000000</b>	<b>35</b>	35	0,10670	0,1067	0,10670	0,1067
0,000000<x<=50,000000	4450	4485	13,56666	13,6734	13,56625	13,6729
50,000000<x<=100,000000	23507	27992	71,66550	85,3389	71,66331	85,3363
100,000000<x<=150,000000	4615	32607	14,06969	99,4086	14,06926	99,4055
150,000000<x<=200,000000	152	32759	0,46340	99,8720	0,46339	99,8689
200,000000<x<=250,000000	1	32760	0,00305	99,8750	0,00305	99,8720
250,000000<x<=300,000000	41	32801	0,12500	100,0000	0,12499	99,9970
Пропущ.	1	32802	0,00305		0,00305	100,0000

**Рис. 3. Таблиця частот коливання значень змінної Var3**

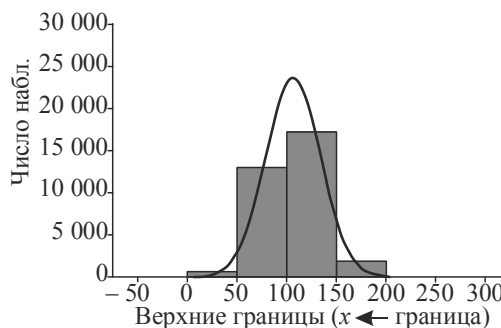


Найбільш часто вживаними критеріями для перевірки гіпотези про закон розподілу є критерій Пірсона, так звана лінійна кореляція, що показує ступінь лінійних зв'язків між змінними. На діаграмі (рис. 4) показано графіки кореляції між Var1, Var2 та Var3. Коефіцієнти кореляції (безрозмірна величина, що не залежить від масштабу вимірювань) у нашому випадку знаходяться в межах 0,8—0,9, що свідчить про тісний зв'язок між вхідними даними.



**Рис. 4.** Діаграма кореляції змінних Var1, Var2 і Var3

Нормальний (або гаусовий) розподіл має дзвіноподібну форму, абсолютно симетричну щодо осі, яка проходить через середнє значення і математично описується формулою, що включає два параметри: середнє і стандартне відхилення. Характерна властивість нормального розподілу полягає в тому, що 68% усіх спостережень лежить у діапазоні 1, а діапазон 2 стандартних відхилень включає 95% даних.



**Рис. 5.** Графік щільності нормального розподілу змінної Var1

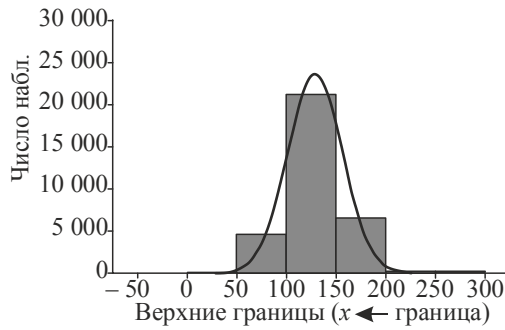


Рис. 6. Графік щільності нормального розподілу змінної Var2

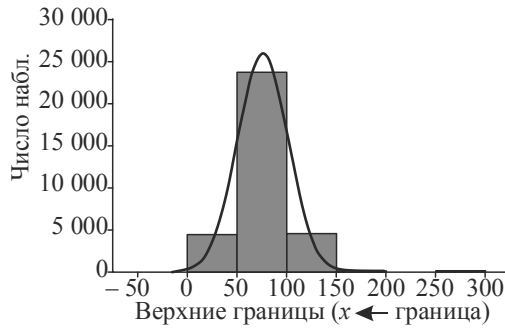


Рис. 7. Графік щільності нормального розподілу змінної Var3

Переменная	Описательные статистики (stat_analiz_sta)									
	N набл.	Среднее	Медиана	Мода	Частота моды	Минимум	Максимум	Дисперс.	Стд. откл.	Станд. Ошибка
Var1	32801	106,8078	106,0000	102,0000	514	3,00000	255,0000	765,6944	27,67118	0,152786
Var2	32801	129,1260	129,0000	121,0000	516	23,00000	255,0000	767,9619	27,53111	0,152013
Var3	32801	75,6190	74,0000	73,00000	653	0,00000	255,0000	651,6346	25,52713	0,140948

Рис. 8. Таблиця описових статистик аналізу даних

При аналізі розподілу вхідних даних показано, що три міри центральної тенденції збігаються, тобто середнє практично дорівнює медіані і моді (Var1 — 106,8; 106; 102; Var2 — 129,1; 129; 121; Var3 — 75,6; 74; 73 ), а отже, всі вхідні дані розподілені за нормальним законом..

За результатами статистичного аналізу оптичних образів об'єктів рослинних насаджень показано, що всі три вхідні параметри, які описують стан сільськогосподарських насаджень, розподілені за нормальним законом. Нормальний розподіл у нашому випадку важливий тому, що замість вибірки великого об'єму набору даних на вхід нейронної мережі можна подати лише статистичні характеристики отриманої адитивної моделі кольорів у форматі RGB, що повністю описують характер аналізованого зображення.

### Висновки

Для розпізнавання образів у системі дистанційного моніторингу станів посівів найефективнішим інструментом є нейронні мережі, що обумовлюється їх здатністю перенавчатись у процесі роботи. При аналізі розподілу

вхідних даних показано, що три міри центральної тенденції збігаються, тобто середнє практично дорівнює медіані і моді, а отже, всі вхідні дані розподілені за нормальним законом. Тому замість вибірки великого об'єму набору даних на вхід нейронної мережі доцільно подати значення середнього з обчислюваних статистичних характеристик для адитивної моделі кольорів у форматі RGB, що повністю опишуть характер аналізованого зображення.

### **Література**

1. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. — Москва, Высш.шк., 2003. — 479 с.
2. *Кибзун А.И.* Теория вероятностей и математическая статистика. базовый курс с примерами и задачами / А.И. Кибзун, Е.Р. Горяинова, А.В. Наумов, А.Н. Сиротин. — Москва : Физматлит, 2002. — 224 с.
3. *Лисенко В.П.* Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм / В.П. Лисенко, В.М. Решетюк, В.М. Штепа, Н.А. Засць та ін. — Київ : НУБІП України, 2014. — 336 с.
4. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Пер. с англ. — Москва : Изд. дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
5. Нейронные сети. StatSoft. Электронный учебник по статистике [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stneunet.html>.

**MODELING OF OPTIMAL AUTOMATIC CONTROL OF THE PROCESS OF BIOLOGICAL CLEARING OF POLLUTED WATERS BY FROZEN ORDER REGULATORS**

O. Lobok, B. Goncharenko, M. Sych  
*National University of Food Technologies*

**Key words:**  
*Fractional calculus*  
*Differentiator*  
*Optimal control*  
*Numerical modeling*  
*Bio-purification of waters*

**Article history:**  
Received 19.11.2017  
Received in revised form 01.12.2017  
Accepted 18.12.2017

**Corresponding author:**  
O. Lobok  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

**ABSTRACT**

The problem of modeling the control of the process of biological treatment of polluted water using fractional regulators is considered and solved in the paper. Mathematical modeling of the biological purification process as a control object is considered, a linear dynamic control model is obtained. The criterion of the quality of automatic control of a fractional regulator by the functioning of a biological water purification system has been introduced. Optimum tunings of fractional regulators are obtained, the dynamics of transient processes of control action and the state of the purification system is investigated. Numerical simulation of fractional and classical control is carried out, a higher efficiency of fractional regulators is shown.

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

**МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ ЗАБРУДНЕНИХ ВОД РЕГУЛЯТОРАМИ ДРОБОВОГО ПОРЯДКУ**

О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, М.А. Сич  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розглядається і вирішується завдання чисельного моделювання щодо керування процесом біологічної очистки забруднених вод за допомогою дробових  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторів. Отримано оптимальні налаштування дробових регуляторів, досліджено динаміку перехідних процесів керувального впливу і вихідного показника стану очисної системи. Проведено чисельне моделювання керування дробовими  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятором і класичним PID-регулятором, показана висока ефективність дробових регуляторів.*

**Ключові слова:** *дробове числення, диферінтегратор, оптимальне керування, чисельне моделювання, біоочищення вод.*

**Поставка проблеми.** Дробове числення має справу з похідними та інтегралами довільного порядку (раціонального, дійсного і навіть комплексного). Дробовим численням в XVII ст. займалися Ріман, Лиувіль, Грюнвальд, Літнік [4; 5; 8]. Але особливо активно розвивається теорія дробового числення в останні роки, і результати її широко використовуються при дослідженні хаотичної динаміки, динамічних нейронних мереж з дробовими порядками, конструюванні (синтезу) регуляторів дробових порядків у теорії автоматичного керування тощо.

Оператором, що узагальнює класичні диференціальний та інтегральний оператори, називається оператор виду

$${}_a D_t^\gamma = \begin{cases} d^\gamma / dt^\gamma, & \gamma > 0 \\ 1, & \gamma = 0 \\ \int_a^t (d\tau)^{-\gamma}, & \gamma < 0 \end{cases} \quad (1)$$

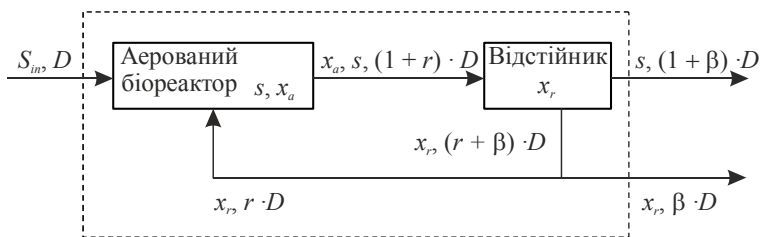
де  $\gamma$  — дробовий порядок оператора (дійсне число);  $a$  — постійна, пов’язана з початковими умовами динамічного процесу.

Оператор (1) часто називають диферінтегратором, оскільки він об’єднує в собі відразу два поняття — похідної та інтеграла.

Традиційно теорія і практика автоматичного керування орієнтовані на застосування класичного диференціального або інтегрального числення, що є цілком логічним, однак з розвитком дробового числення виникає потреба дослідження можливостей застосування дробових законів керування та побудови дробових регуляторів і виявлення особливостей систем керування з ними.

**Метою статті** є не тільки порівняння дробових регуляторів з класичними та вивчення можливості й ефективності застосування їх у системах автоматичного керування, але й чисельне моделювання процесів керування очищенням забруднених вод.

**Викладення основних результатів дослідження.** У пропонованому дослідженні розглянуто задачу чисельного моделювання керування процесом біологічної очистки стічних вод активним мулом з використанням  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторів дробового порядку. Очисна система (рис. 1) складається з біореактора-аеротенка і відстійника мулу.



**Рис. 1.** Схема процесу очищення стічних вод

Математична модель, що описує очищення води за даною схемою, отримана на основі матеріального балансу для аератора і відстійника у вигляді такої системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx_a(t)}{dt} = \mu(t)x_a(t) - D(t)(1+r)x_a(t) + rD(t)x_r(t) \\ \frac{ds(t)}{dt} = -\frac{\mu(t)}{Y}x_a(t) - D(t)(1+r)s(t) + D(t)s_{in}(t) \\ \frac{dx_r(t)}{dt} = -D(t)(\beta+r)x_r(t) + D(t)(1+r)x_a(t) \end{cases}, \quad (2)$$

де  $x_a(t)$ ,  $s(t)$  — відповідно, концентрація біомаси і субстрату в біореакторі;  $x_r(t)$  — концентрація рециркуляційної біомаси;  $D(t)$  — ступінь розведення, який визначається як  $D(t) = F(t)/V$ , де  $F(t)$  — об'ємна швидкість потоку,  $V$  — обсяг біореактора;  $s_{in}(t)$  — концентрація субстрату у вхідному потоці;  $Y$  — фактор виходу (прибутковості) біомаси;  $\mu(t)$  — питома швидкість росту біомаси, яка визначається за формулою Моно [3]:

$$\mu(t) = \mu_{\max} \frac{s(t)}{k_s + s(t)}, \quad (3)$$

де  $\mu_{\max}$  — максимальна питома швидкість росту біомаси;  $k_s$  — константа насичення, що визначається експериментальним шляхом;  $r, \beta$  — коефіцієнти, що визначають, відповідно, відношення рециркуляційного потоку і потоку відходів біомаси до вхідного потоку;  $x_{a0}, s_0, x_{r0}$  — відповідно, концентрація біомаси, субстрату і рециркуляційної біомаси в початковий момент часу  $t_0$ ;  $t_0 < t \leq T$ ,  $T$  — кінцевий момент часу керування процесом.

Як регульований параметр (вихід моделі) виберемо величину  $s(t)$  — концентрацію субстрату в біореакторі, яка визначає якість очищення води. Як керувальний вплив (дію) на систему виберемо функцію ступінь розведення  $D(t)$ .

Для зручності систему (2) запишемо у векторному вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = x^0, \end{cases} \quad (4)$$

де

$$f(x(t), u(t)) = \begin{pmatrix} f_1(x(t), u(t)) \\ f_2(x(t), u(t)) \\ f_3(x(t), u(t)) \end{pmatrix}, \quad x(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a(t) \\ s(t) \\ x_r(t) \end{pmatrix}, \quad u(t) = D(t), \quad (5)$$

$$f_1(x(t), u(t)) = \mu(x(t))x_1(t) - (1+r)x_1(t)u(t) + rx_3(t)u(t),$$

$$f_2(x(t), u(t)) = -\frac{\mu(x(t))}{Y}x_1(t) - (1+r)x_2(t)u(t) + s_{in}(t)u(t),$$

$$f_3(x(t), u(t)) = -(\beta+r)x_3(t)u(t) + (1+r)x_1(t)u(t),$$

$$\mu(x(t)) = \mu_{\max} \frac{x_2(t)}{k_s + x_2(t)}.$$

Регульований параметр при цьому можна записати так:

$$s(t) = x_2(t) = c^T x(t), \tag{6}$$

де  $c = (0 \ 1 \ 0)^T$ .

Лінеарізуємо перетворену систему (4) в околі заданого номінального керування  $u^*$  і відповідного йому вектора рівноважного стану  $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)^T$ , при якому  $f(x^*, u^*) = 0$ , і який визначається як розв'язок системи нелінійних рівнянь  $f(x, u^*) = 0$  щодо вектора  $x$ .

Введемо позначення:

$$\Delta x(t) = \begin{pmatrix} \Delta x_1(t) \\ \Delta x_2(t) \\ \Delta x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1(t) - x_1^* \\ x_2(t) - x_2^* \\ x_3(t) - x_3^* \end{pmatrix} = x(t) - x^*, \quad \Delta u(t) = u(t) - u^*. \tag{7}$$

Тоді лінеаризовану систему рівнянь моделі (4) можна представити у такому вигляді:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta x(t)}{dt} = A\Delta x(t) + b\Delta u(t) \\ \Delta x(t_0) = x^0 - x^* \end{cases}. \tag{8}$$

З огляду на співвідношення (6) і позначення (7) рівняння для регульованої змінної (вихід моделі) запишеться у вигляді:

$$\Delta s(t) = c^T \Delta x(t), \tag{9}$$

де  $\Delta s(t) = s(t) - c^T x^*$ .

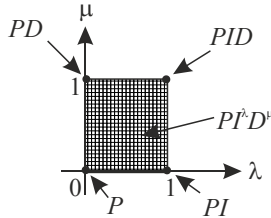
Модель керування (8) має один вхід і один вихід. Відомим способом стабілізації потрібних параметрів є застосування регуляторів у зворотному зв'язку в складі контура автоматизованої системи керування. Використаємо дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор [1; 2] і порівняємо його ефективність з класичним  $PID$ -регулятором.

Аналогічно [7; 9]  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятори представимо у вигляді:

$$\Delta u(t) = k_P (\Delta s(t)) + k_I \left( {}_{t_0} D_t^{-\lambda} \Delta s(t) \right) + k_D \left( {}_{t_0} D_t^\mu \Delta s(t) \right), \tag{10}$$

де  $k_P$ ,  $k_I$ ,  $k_D$  — налагоджувальні коефіцієнти регулятора;  ${}_{t_0} D_t^{-\lambda} \Delta s(t)$  — дробова похідна порядку  $\lambda$ ;  ${}_{t_0} D_t^\mu \Delta s(t)$  — дробовий інтеграл порядку  $\mu$ , причому  $\lambda, \mu$  — довільні дійсні числа з інтервалу  $(0, 2)$ , тобто  $\lambda, \mu \in (0, 2)$ . Якщо  $\lambda \geq 2$  або  $\mu \geq 2$ , то  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор набуває високого порядку, і структура його відрізняється від класичного  $PID$ -регулятора. Регулятор (10) є узагальненим дробовим  $PID$ -регулятором. При  $\lambda = 1$  і  $\mu = 1$  маємо класичний

*PID*-регулятор, якщо  $\lambda = 1, \mu = 0$ , то отримуємо *PI*-регулятор, при  $\lambda = 0, \mu = 1$  маємо *PD*-регулятор і при  $\lambda = 0, \mu = 0$  — *P*-регулятор. Всі ці різновиди класичних *PID*-регуляторів є окремими випадками дробового  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятора (10). Однак  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор є більш гнучким і має можливість краще регулювати (налаштовувати) динамічні властивості систем керування. На *P-I-D*-площині це означає, що замість «стрибків» між чотирма фіксованими точками (*P, PI, PD* і *PID* (рис. 2)) на площині є можливість неперервного пересування ( $PI^\lambda D^\mu$ ) між ними.



**Рис. 2. *P-I-D*-площина дробових порядків похідних та інтегралів**

Дробові похідні та інтеграли визначаються як межа

$${}_{t_0} D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-\alpha} \sum_{j=0}^{\left[ \frac{t-t_0}{h} \right]} (-1)^j \binom{\alpha}{j} f(t-jh), \quad (11)$$

де  $\binom{\alpha}{j}$  — біноміальні коефіцієнти вигляду  $\binom{\alpha}{j} = \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(j+1) \cdot \Gamma(\alpha-j+1)}$ , в яких

$\Gamma(x)$  — гама-функція Ейлера вигляду  $\Gamma(x) = \int_0^{+\infty} e^{-y} y^{x-1} dy$  (нагадаємо, що при цілому  $x = k$  вона дорівнює  $\Gamma(k+1) = k!$ );  $[\cdot]$  — ціла частина числа;  $h > 0$  — приріст часової координати (квантування).

Якщо  $\alpha > 0$ , то формула (11) визначає дробову похідну, якщо ж  $\alpha < 0$ , то дробовий інтеграл. Тому співвідношення (11) часто називають диферінтегратором, як і співвідношення (1). Відзначимо також, що при цілих порядках  $\alpha$  в (11) буде кінцева сума, а при дробових  $\alpha$  — нескінченне число членів ряду.

З урахуванням (9),  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор (10) запишемо у вигляді оператора від стану  $\Delta x(t)$ :

$$\Delta u(t) = c^T \left( k_P (\Delta x(t)) + k_I \left( {}_{t_0} D_t^{-\lambda} \Delta x(t) \right) + k_D \left( {}_{t_0} D_t^\mu \Delta x(t) \right) \right), \quad (12)$$

а критерій якості автоматичного керування функціонуванням системи біологічної очистки як:

$$J_p = \int_{t_0}^T |\Delta s(t)|^p dt = \int_{t_0}^T \left| c^T \Delta x(t) \right|^p dt, \quad (13)$$

де  $p > 0$  — параметр, який на практиці приймають рівним  $p = 1$  (модуль похибки) або  $p = 2$  (середньоквадратична похибка).



Для чисельної реалізації сформульованої задачі оптимального регулювання дискретизуємо систему (8), дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор (12) і критерій (13), розбивши часовий інтервал  $[t_0, T]$  на  $n$  частин з кроком  $h = (T - t_0) / n$  ( $h$  — період квантування). Точки розбиття в  $[t_0, T]$  позначимо через  $t_k$ , а стан системи (8) в ці моменти часу  $t_k$  — через  $z_k = \Delta x(t_k)$ .

Апроксимуємо неперервний вхідний сигнал  $\Delta u(t)$  кусково постійною функцією:  $\Delta u(t) = u_k$  при  $t_k \leq t < t_{k+1}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, n$  і, використовуючи матрицю лінійної неперервної системи (8), отримаємо такий її дискретний аналог:

$$\begin{cases} z_{k+1} = e^{Ah} z_k + A^{-1}(E - e^{-Ah}) b u_k, & k = 0, 1, 2, \dots, n-1, \\ z_0 = x^0 - x^*, \end{cases} \quad (14)$$

де  $E$  — одинична матриця;  $e^{Ah}$  — матрична експонента.

Далі дискретний дробовий  $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор представимо у вигляді:

$$u_k = c^T \left( k_p(z_k) + k_I \left( h^\lambda \sum_{j=0}^k w_j^{(-\lambda)} z_{k-j} \right) + k_D \left( h^{-\mu} \sum_{j=0}^k w_j^{(\mu)} z_{k-j} \right) \right). \quad (15)$$

Відмітимо, що при  $k = 0$  керувальний сигнал дорівнює:

$$u_0 = (k_p + k_I h^\lambda + k_D h^{-\mu}) c^T z_0. \quad (16)$$

Критерій якості (13) запишемо в дискретизованому вигляді:

$$J_p = \frac{h}{2} \left( |c^T z_0|^p + 2 \sum_{j=1}^{n-1} |c^T z_j|^p + |c^T z_n|^p \right). \quad (17)$$

Чисельне моделювання керованої системи біоочищення і пошук оптимального регулятора здійснювалися при таких вихідних даних:  $s_{in} = 200$  [мг/л],  $Y = 0,65$ ,  $\mu_{max} = 0,15$  [год<sup>-1</sup>],  $k_s = 100$  [мг/л],  $r = 0,6$ ,  $\beta = 0,2$ ,  $u^* = 0,05$  [год<sup>-1</sup>],  $t_0 = 0$ ,  $T = 1$  [год], вектор початкового стану системи (8) приймався рівним  $x^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0)^T = (286, 17, 568)^T$  [мг/л].

Використовувався метод повного перебору з рівномірним кроком для розв'язання завдання мінімізації критерію:

$$I_p(\lambda, \mu) = \min_{k_p, k_I, k_D} J_p(k_p, k_I, k_D, \lambda, \mu) \quad (18)$$

відносно параметрів  $\lambda$  і  $\mu$ . Результати оптимізації методом повного перебору критерія (18) представлені в таблиці.

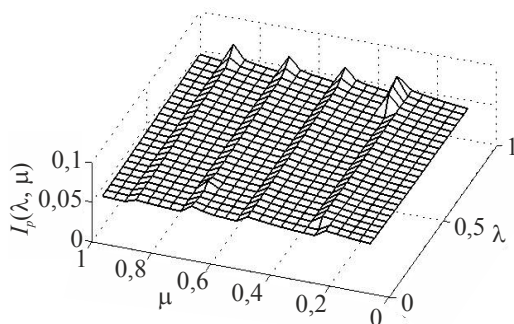
**Таблиця. Оптимальні налаштування дробового  $PI^\lambda D^\mu$  та класичного PID-регуляторів**

$p$	$\lambda$	$\mu$	$k_p$	$k_I$	$k_D$	$I_p(\lambda, \mu)$
1	1	1	-0,1381	-3,3019	-0,0016	0,0963
1	0,9750	0,750	-0,2231	0,0072	$-1,0847 \cdot 10^{-5}$	0,0854
2	1	1	-0,1294	-3,6445	-0,0015	0,1184
2	0,9875	0,600	-0,2234	0,0068	$-3,1249 \cdot 10^{-6}$	0,0855

У шпальтах  $\lambda$  і  $\mu$  наведені порядки похідних та інтегралів дробових регуляторів, в шпальтах  $k_p, k_I, k_D$  — оптимальні налаштування цих регуляторів, в останньому стовпчику — мінімальне значення критерію (18). Тут же для порівняння наведені результати оптимізації для класичного  $PID$ -регулятора при  $\lambda = 1$  і  $\mu = 1$ .

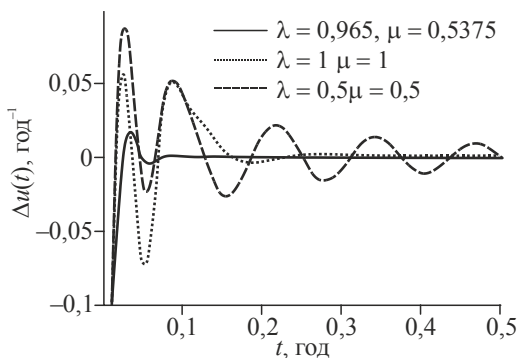
Результати показують, що значення цільової функції  $I_p(\lambda, \mu)$  ( $p = 1, p = 2$ ) при оптимальному дробовому  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторі менші, ніж при класичному  $PID$ -регуляторі.

Для дослідження поверхні критерію якості  $I_p(\lambda, \mu)$  на рис. 3 зображений графік залежності цього критерію від порядків дробових похідних ( $\mu$ ) та інтегралів ( $\lambda$ ), які використовуються в дробовому  $PI^\lambda D^\mu$ -законі регулювання (15).



**Рис. 3.** Графік поверхні функції мети  $I_p(\lambda, \mu)$

Результати були отримані за допомогою пакета Toolbox Optimization системи MATLAB. На рис. 4 представлені графіки оптимальних функцій керування (швидкості розведення потоку рідини) системи біологічної очистки води при класичному  $PID$ - і  $PI^\lambda D^\mu$ -дробових регуляторах (15).



**Рис. 4.** Динаміка оптимальних дробових  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторів (швидкість розведення потоку рідини) і класичного  $PID$ -регулятора ( $\lambda = 1, \mu = 1$ )

На рис. 5 представлені графіки відповідних оптимальних перехідних процесів (зміни концентрації субстрату) цієї системи за критерієм  $J_2(k_p, k_I, k_D, \lambda, \mu)$ .

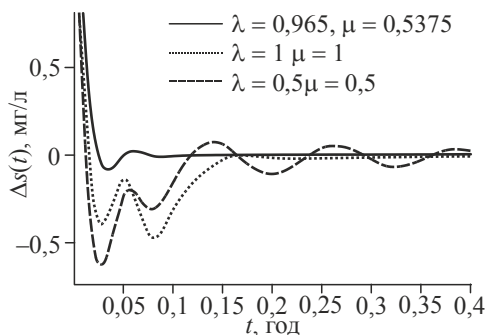


Рис. 5. Оптимальні перехідні процеси зміни концентрації субстрату при різних дробових  $PI^\lambda D^\mu$  - і класичному  $PID$ -регуляторах

Порівняльний аналіз динаміки перехідних процесів показує більш високу швидкість і якість загасання при оптимальному дробовому  $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторі ( $\lambda = 0,965$ ,  $\mu = 0,5375$ ) порівняно з оптимальним класичним  $PID$ -регулятором ( $\lambda = 1$ ,  $\mu = 1$ ). Видно, що оптимальні дробові регулятори з точним налаштуванням параметрів  $\lambda$  (порядок дробового інтеграла) і  $\mu$  (порядок дробової похідної) є більш ефективними порівняно з класичним  $PID$ -регулятором.

### Висновки

Ступінь ефективності дробових регуляторів і причини високої чутливості критерію оптимальності і перехідних процесів щодо порядків дробових похідних та інтегралів вимагають подальших досліджень.

### Література

1. Авсиевич А.В. Моделирование систем автоматического управления с дробным ПИД-регулятором [Текст] / А.В. Авсиевич, В.В. Авсиевич // Вестник Самарского государственного технического университета, сер. техническое науки. — 2010. — № 1(26). — С. 6—59.
2. Бутковский А.Г. Дробное интегро-дифференциальное исчисление и его приложения в теории управления. II. Дробные динамические системы: моделирование и аппаратная реализация [Текст] / А.Г. Бутковский, С.С. Постнов, Е.А. Постнова // Автоматика и телемеханика. — 2013. — № 5. — С. 3—34.
3. Васильев В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. [Текст] / В.В. Васильев, Л.А. Симак. — Киев, НАН Украины, 2008. — 256 с.
4. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение [Текст] / А.М. Нахушев // — Москва : Физматлит, 2003. — 272 с.
5. Самко С.Г. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения [Текст] / С.Г. Самко, А.А. Килбас, О.И. Маричев // Наука и техника. — Минск, 1987. — 688 с.
6. Учайкин В.В. Метод дробных производных [Текст] / В.В. Учайкин // Ульяновск : Артишок, 2008. — 512 с.
7. Podlubny I. Fractional-order systems and PID controllers. IEEE Transactions on Automatic Control, 1999, 44: 208—214.
8. Podlubny I. Fractional Differential Equations / Mathematics in Sciences and Engineering, Vol. 198. — Academic Press, 1999. — 340 p.
9. Vinagre B.M., Petras I., Podlubny I., Chen Y.Q. Using fractional order adjustment rules and fractional order reference models in model-reference adaptive control. Nonlinear Dyn. 29(1—4), 269—279 (2002).

## RESEARCH OF SAFETY CLIMATE AREA CONFECTIONERY

N. Volodchenkova, L. Nakempiy

National University of Food Technologies

<b>Key words:</b> <i>Safety climate</i> <i>Weather conditions</i> <i>The air of working zone</i> <i>Working conditions</i>	<b>ABSTRACT</b> The paper presents the results of experimental research of conditions of workers of pastry shop in Kyiv region, by parameters of meteorological conditions, under which there are different stages of the relevant process. The method of calculating the amount of heat not only from the technological equipment, but also taking into account the heat from lighting devices, installation of premises, heat dissipation of workers and other sources is given. This method allows to calculate the degree of violation of the comfort of air medium by complex indicator of discomfort. Actions for normalization of parameters of air medium can improve conditions for workers, prevent diseases, that will contribute to productivity and will help to improve the quality of the finished product.
<b>Article history:</b> Received 14.11.2017 Received in revised form 04.12.2017 Accepted 26.12.2017	
<b>Corresponding author:</b> N. Volodchenkova <b>E-mail:</b> npnuht@ukr.net	
<b>DOI:</b> 10.24263/2225-2924-2017-23-6-6	

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ КОНДИТЕРІВ

Н.В. Володченкова, О.К. Накемпій

Національний університет харчових технологій

*У статті представлено результати експериментального дослідження умов праці працівників кондитерського цеху Київської області за фактором параметрів метеорологічних умов, при яких відбуваються різні етапи відповідного технологічного процесу. Наведено методіку розрахунку кількості тепла не лише від технологічного обладнання, а й з урахуванням тепла від приладів освітлення, інсталяції приміщень, тепловиділень працівників та інших джерел. Дана методіка дає змогу розрахувати ступінь порушення комфортності повітряного середовища за комплексним показником дискомфорту. Заходи щодо нормалізації параметрів повітряного середовища поліпшать умови праці виробничого персоналу, запобігатимуть захворюванням, що, відповідно, вплине на продуктивність праці та дасть змогу підвищити якість готової продукції.*

**Ключові слова:** мікроклімат, метеорологічні умови, повітря робочої зони, умови праці.

**Постановка проблеми.** Для збереження здоров'я та працездатності працівників кондитерського виробництва необхідно керувати станом повітря-

ного середовища. Відхилення від норм параметрів мікроклімату призводить до порушення фізіологічного стану працівників, що викликає передчасне стомлення та зниження працездатності виробничого персоналу.

Створення відповідних метеорологічних умов, які необхідні для забезпечення технологічного процесу й умов праці виробничого персоналу підприємства, підвищить продуктивність праці та, відповідно, якість готової продукції. Для виконання вимог санітарних норм до гігієнічних параметрів повітряного середовища (температура, відносна вологість, рух повітря, теплове випромінювання, температура нагрітої поверхні) необхідно удосконалювати технологічне обладнання, впроваджувати сучасні системи опалення і вентиляції виробничих приміщень.

**Мета статті:** дослідити умови праці працівників кондитерського цеху Київської області за фактором параметрів метеорологічних умов, при яких відбуваються різні етапи відповідного технологічного процесу, розробити методику розрахунку кількості тепла з урахуванням тепла від приладів освітлення, інсталяції приміщень, тепловиділень працівників та інших джерел.

**Матеріали і методи.** Для проведення дослідження використовувалися експериментальні методи дослідження параметрів мікроклімату, їх допустимість відповідним нормованим значенням, статистичне оброблення експериментальних значень.

**Результати і обговорення.** Мікроклімат виробничих приміщень залежить від технологічних процесів. Ряд процесів відбувається при певних температурних параметрах навколишнього середовища виробничих приміщень (бродіння напівфабрикатів, відтаювання та інші процеси). Невідповідність таких параметрів може призвести до порушення технологічних режимів приготування напівфабрикатів і виготовлення готової продукції. [1; 2].

Підвищена або знижена температура повітря робочої зони впливає на організм виробничого персоналу, викликаючи звуження або розширення кровоносних судин шкіри. Накопичення тепла в організмі призводить до порушення і розладу нервової системи, секреторної діяльності шлунка, печінки, порушення обмінних процесів, патологічної гіпертермії (перегріву), судомної хвороби, теплового удару.

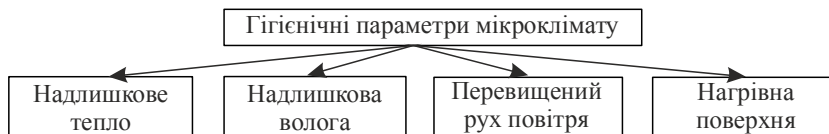
Підвищена вологість ( $\varphi > 85\%$ ) ускладнює теплообмін між організмом людини і зовнішнім середовищем робочої зони внаслідок зменшення випаровування вологи з поверхні шкіри, а низька вологість ( $\varphi < 20\%$ ) призводить до пересихання слизових оболонок дихальних шляхів.

Рух повітря у виробничому приміщенні покращує теплообмін між тілом людини і зовнішнім середовищем, але підвищені показники швидкості руху повітря (протяги) підвищують імовірність виникнення простудних захворювань.

Постійне відхилення від нормованих гігієнічних параметрів мікроклімату призводить до перегріву або переохолодження організму людини і пов'язаним з ними негативних наслідків: при перегріванні — до підвищеного потовиділення, збільшення частоти серцебиття (пульсу) і дихання, різкої слабкості, запаморочення, появи судом, а у важких випадках — до виникнення теплового удару. При переохолодженні виникають простудні захворювання, хронічні запалення суглобів, м'язів тощо [3—5].

Рух повітря всередині виробничого приміщення створює повітряні потоки, які сприяють збільшенню віддачі теплоти організмом людини в навколишнє середовище, що веде до поліпшення її самопочуття в жарких приміщеннях, але є несприятливим фактором при знижених температурах (особливо в холодний період часу), викликаючи при цьому різні простудні та запальні захворювання.

Специфіка діяльності кондитерських підприємств, що спеціалізуються на виготовленні борошняних кондитерських виробів, свідчить про те, що для різних стадій технологічного процесу (підготовки сировини, приготування напівфабрикатів і виготовлення готової продукції) характерні певні невідповідності параметрів повітряного середовища за параметрами мікроклімату.



**Рис. 1. Визначення гігієнічних параметрів мікроклімату виробничих приміщень кондитерського цеху**

Гігієнічне дослідження параметрів мікроклімату проводилося відповідно до [1; 2]. Інструментальні виміри проводилися у різні періоди року (липень, січень) у виробничих і допоміжних приміщеннях кондитерського цеху на робочих місцях кондитерів. Перепади температур по висоті і по горизонталі, а також протягом зміни не перевищували  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

При проведенні дослідження встановлено, що надлишкове тепло фіксується у пічному, обжарювальному, варильному відділеннях і тепловому пункті; значні вологовиділення у відділенні підготовки яєць, сиропо-варильному та протиручному відділеннях, приміщенні мийки і стерилізації інвентарю; підвищені параметри швидкості руху повітря у відділенні приймання сировини та видачі готової продукції (експедиція).

Результати дослідження параметрів інтенсивності тепловиділення і вологовиділення від технологічного обладнання кондитерського виробництва, яке проводилося в теплий і холодний період року, наведені в табл. 1.

*Таблиця 1. Результати дослідження параметрів тепловиділення і вологовиділення від технологічного обладнання кондитерського цеху*

Обладнання	Марка обладнання	Тепловиділення, кДж/год	Вологовиділення, кг/год
Котел варильний	КПЭСМ-30	4268	1,56
	Відкритого типу	2525	1,96
Котел нагрівальний	33-2А-10.01	8400	—
Обжарювальна машина	(міні, потужністю 36 кг/год)	9600	—
Піч електрична	Мусон-Ротор, модель 33	18300	—
Машина протиручна	МПУ-400	—	0,24
Міксер планетарний	STARMIX PL20B2VS	—	0,11

Проведеним дослідженням було встановлено, що джерелами тепла у виробничих приміщеннях є: система опалення, обладнання, що випромінює тепло (печі, варильні котли, обжарювальна машина), сонячна енергія, за рахунок інсоляції виробничих приміщень, система штучного освітлення й теплове випромінювання самих працівників. Формування мікроклімату в приміщенні відбувається за рахунок надходження тепла від теплоджерел і втрати частини його в навколишній простір.

Тепловиділення від електродвигунів може бути визначено залежно від встановленої потужності, при цьому загальний приведений коефіцієнт, як правило, приймається рівним 0,15.

Відповідно до вимог [1; 2] інтенсивність теплового випромінювання працівників і від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, приладів освітлення та інших джерел тепла не повинна перевищувати 35 Вт/м<sup>2</sup>. З метою запобігання тепловому перегріванню температура зовнішніх поверхонь технологічного обладнання й трубопроводів не повинна перевищувати 45° С.

Тепло від випромінювання, передається за законом Стефана-Больцмана в напрямку поверхонь з більш низькою температурою. Кількість тепла, що віддається  $Q_{\text{надл}}$ , залежить від площі поверхні тіла людини  $F_{\text{надл}}$ , різниці температури тіла  $T_{\text{т}}$  і температури поверхонь  $T_{\text{п}}$ . Однак при різниці температур, яка не перевищує +40° С, можна вважати, що за 1 год організм випромінює:

$$Q_{\text{надл}} = K_{\text{надл}} \cdot F_{\text{надл}} \cdot (T_{\text{т}} - T_{\text{п}}), \quad (1)$$

де  $K_{\text{надл}}$  — наведений коефіцієнт випромінювання тепла одягом і навколишніх поверхонь, кДж/(м<sup>2</sup>.год.град).

У випадку, коли температура оточуючих поверхонь нижча за температуру тіла людини, відбувається передавання тепла з поверхні тіла людини випромінюванням. В іншому випадку можливий перегрів організму.

Конвективне перенесення тепла  $Q_{\text{к}}$ , що передається за одиницю часу, залежить від площі поверхні тіла  $F_{\text{к}}$ , яка обдувається, та різниці температур тіла людини  $T_{\text{т}}$  і навколишнього повітря  $T$ , а також швидкості руху повітря  $V$ .

$$Q_{\text{к}} = \alpha \cdot F_{\text{к}} \cdot (T_{\text{т}} - T), \quad (2)$$

де  $\alpha$  — коефіцієнт конвективного теплообміну, кДж/м<sup>2</sup>.год.град.

При малих швидкостях повітря ( $V \leq 4$  м/с) значення  $\alpha$  може бути визначено, як

$$\alpha = 6,31 \cdot V^{0,654} + 3,25 \cdot e^{-1,91V}. \quad (3)$$

Тепловіддача випаровуванням:

$$Q_{\text{вип}} = K_{\text{вип}} \cdot F_{\text{вип}} \cdot (P_{\text{т}} - P_{\text{п}}), \quad (4)$$

де  $F_{\text{вип}}$  — площа поверхні тіла, що бере участь у випаровуванні;  $P_{\text{т}}$  — парціальний тиск насиченої водяної пари при температурі тіла людини, кПа;  $P_{\text{п}}$  — парціальний тиск водяної пари в навколишньому повітрі, кПа;  $K_{\text{вип}}$  — коефіцієнт теплообміну при випаровуванні, кДж/(м<sup>2</sup>.год.Па).

При підвищенні температури навколишнього повітря до +30° С і вище основний шлях тепловіддачі — випаровування. Рефлекторно посилюється робота потових залоз і волога з потом виділяється з організму. При випаровуванні 1 л води відводиться  $2,46 \cdot 10^3$  кДж теплової енергії.

Оптимальні параметри мікроклімату прийнято називати комфортними. Як показник, що характеризує ступінь порушення комфортності повітряного середовища, використовується комплексний показник дискомфорту  $O_d$ , який визначається за рівнянням теплового балансу організму людини:

$$E_d = Q_{\text{втр}} - Q_{\text{т}} = Q_{\text{втр}} - Q_{\text{накл}} - Q_{\text{к}} - Q_{\text{вип}}, \quad (5)$$

де  $Q_{\text{втр}}$  — енерговитрати організму людини, кДж/год;  $Q_{\text{т}}$  — тепловтрати організму, кДж/год.

Отримання додаткового тепла (+ $O_d$ ) призводить до перегріву організму, втрата тепла ( $-E_d$ ) призводить до зниження температури тепла і відчуття холоду. Найбільш оптимально комфортний стан, при якому  $E_d \approx 0$ , що свідчить про відсутність як перегріву, так і охолодження організму. Величина  $Q_{\text{втр}}$  зазвичай залежить від характеру виконуваної роботи. Значення  $Q_{\text{накл}}$ ,  $Q_{\text{к}}$ ,  $Q_{\text{вип}}$  при відомих параметрах поверхні тіла людини визначаються лише параметрами мікроклімату та можуть бути розраховані за формулами (1), (2) і (4). Таким чином, при  $E_d \approx 0$  вираз (5) описує область комфортних сполучень параметрів мікроклімату  $T$ ,  $\phi$  і  $V$ .

Розрахунковим шляхом зону комфортного стану виробничого приміщення  $S_b$  за різних умов мікроклімату (при рухомому і нерухомому стану повітряного середовища) можна визначити за формулою:

$$S = k - 0,1tc - 0,0968t_0 - 0,0372R + 0,0367(37,8 - tc)V, \quad (6)$$

де  $S$  — характеристика теплових відчуттів;  $k$  — константа (для зими  $k = 7,83$ ; для літа  $k = 8,45$ );  $t_c$  — температура повітря за сухим термометром, °С;  $t_0$  — температура оточуючих поверхонь (відповідає температурі повітря за сухим термометром), °С;  $R$  — тиск водяної пари в повітрі, мм рт.ст.;  $V$  — швидкість руху повітря, м/с.

Отриманий результат за формулою (6) округлюють до цілого числа і за табл. 2 визначають теплове відчуття. Даний метод застосовується при вологості повітря від 30% до 70%. Значення  $S$  характеризує теплові відчуття людей, що виконують певну роботу.

*Таблиця 2. Очікувані значення теплових відчуттів*

Характеристика теплових відчуттів, $S$	Теплове відчуття працівника
1	Дуже жарко
2	Жарко
3	Тепло
4	Комфортно
5	Прохолодно
6	Холодно
7	Дуже холодно

Засобами і способами нормалізації мікроклімату є:  
- система опалення;



- кондиціонування повітря;
- вентиляція;
- інсоляція приміщень шляхом архітектурно-планувальних рішень, сонцезахисним зашторюванням вікон та ін. способами;
- теплоізоляція нагрітих поверхонь;
- повітряне душення на робочих місцях;
- створення повітряних завіс біля відкритих воріт і дверей;
- підігрів (зволоження повітря) у системах вентиляції і кондиціонування.

Під час проведення дослідження виявлено, що в приміщеннях із незначними тепловиділеннями, а саме: відділеннях приймання молока та кисломолочних продуктів, сировини, складах тарного зберігання борошна, какао, цукру білого кристалічного, складах готової продукції, складах таропакувальних матеріалів для забезпечення нормальних умов праці повинна бути передбачена природна вентиляція з одноразовим повітрообміном.

Наявність пристроїв місцевого відсмоктування забезпечує ефективне видалення повітря виробничих приміщень.

### **Висновки**

У статті представлені результати практичного дослідження параметрів повітряного середовища виробничих приміщень одного з кондитерських підприємств Київської області. Важливість отриманих результатів полягає в тому, що вони підтверджують, що дія метеорологічних факторів на виробничий персонал відбувається синергічно, тобто несприятливі фактори посилюють один одного, або антагоністично, коли дія одного чи декількох факторів послаблюється або повністю знищується іншими. Наведена методика розрахунку оптимальних параметрів мікроклімату дає змогу покращити умови праці виробничого персоналу за фактором створення необхідних метеорологічних умов, при яких відбуваються різні етапи відповідного технологічного процесу.

### **Література**

1. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://ua-info.biz/legal/basetp/ua-zmptae.htm>.
2. НПАОП 15.8-1.14-97. Правила безпеки для кондитерського виробництва [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.ohrantruda.com/arkhiv-dokumentov/file/1694/>.
3. *Jeppe Ajslev* (2017) Safety climate and accidents at work: Cross-sectional study among 15,000 workers of the general working population/ *Jeppe Ajslev, Efat Lali Dastjerdi, Johnny Dyreborg, Pete Kines, Katharina Christiane Jeschke, Emil Sundstrup, Markus Due Jakobsen, Nils Fallentin, Lars Louis Andersen* // *Safety Science*. — January 2017. — Volume 91. — P. 320—325.
4. *Jakko van Kampen* (2017) Assessing the statistical properties and underlying model structure of fifteen safety constructs/ *Jakko van Kampen, Dolf van der Beek, Wouter Steijn, Jop Groeneweg, Frank Guldenmund* // *Safety Science*. — April 2017. — Volume 94. — P. 208—218.
5. *Beatriz Fernández-Muñiz* (2012) Safety climate in OHSAS 18001-certified organisations: Antecedents and consequences of safety behaviour/ *Beatriz Fernández-Muñiz, José Manuel Montes-Peón, Camilo José Vázquez-Ordás* // *Accident Analysis & Prevention*. — March 2012. — Volume 45. — P. 745—758.

## PREPARATIONS OF THE TUMOR NECROSIS FACTOR: CHARACTERISTICS, PRODUCTION METHODS AND MODIFICATION

E. Kharchenko, O. Skrotska, Yu. Penchuk, O. Bodnar

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Tumor necrosis factor  
Recombinant drug  
(preparation)  
Producer  
Modification*

---

**Article history:**

Received 03.11.2017  
Received in revised form  
24.11.2017  
Accepted 15.12.2017

---

**Corresponding author:**

E. Kharchenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The paper presents data about the biological properties of the tumor necrosis factor (TNF) and drugs based on it, which are used in medical practice to combat cancer. The preparates for scientific research based on recombinant TNF have also been described. The brief information about the possibilities of obtaining TNF using unicellular pro- (*Escherichia coli*) and eukaryotes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia pastoris*) is given. The TNF synthesis inducers (bacterial lipopolysaccharides, phytohemagglutinin, antigens of various organisms) that are used in the cultivation of immunocompetent animals or human mononuclear cells are characterized. The possibilities of TNF modification to improve its biological properties, increase activity and reduce toxicity, create TNF nanocomposites with antibiotics, antibody fragments, and metal nanoparticles, disadvantages of the use of polyethylene glycol for modification of TNF have also been presented.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-7

---

## ПРЕПАРАТИ ФАКТОРА НЕКРОЗУ ПУХЛИН: ХАРАКТЕРИСТИКА, СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ТА МОДИФІКАЦІЇ

Є.В. Харченко, О.І. Скроцька, Ю.М. Пенчук, О.В. Боднар

Національний університет харчових технологій

*У статті узагальнено дані про біологічні властивості фактора некрозу пухлин (ФНП) і препаратів на його основі, які застосовують у лікарській практиці для боротьби з раковими захворюваннями. Охарактеризовано препарати для наукових досліджень на основі рекомбінантного ФНП. Наведено коротку інформацію про можливості отримання ФНП за допомогою одноклітинних про- (*Escherichia coli*) та еукаріот (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia pastoris*). Описано індуктори синтезу ФНП (бактеріальні ліпополісахариди, фітогемаглютенін, антигени різних організмів), які використовують при культивуванні імунокомпетентних тваринних або людських мононуклеарних клітин. Визначено можливості модифікації ФНП для покращення його біологічних властивостей, підвищення активності та зменшення*

*токсичності, створення нанокмпозитів ФНП з антибіотиками, фрагментами антитіл, наночастками металів, а також недоліки використання поліетиленгліколю для модифікації ФНП.*

**Ключові слова:** *фактор некрозу пухлин, рекомбінантний препарат, продуцент, модифікація.*

**Постановка проблеми.** Пошук ефективних засобів лікування злоякісних новоутворень є доволі актуальним завданням сьогодення. Нині увагу дослідників все частіше привертає цитокінотерапія онкологічних захворювань, зокрема застосування фактора некрозу пухлин (ФНП) для лікування раку. Вибір ФНП пов'язаний з його вибірковою здатністю призупиняти ріст і викликати лізис злоякісних клітин, геморагічний некроз пухлин та активувати імунний протипухлинний імунітет.

ФНП володіє плейотропним ефектом і викликає експресію адгезивних молекул як на фагоцитах, так і на клітинах ендотелію судин. Останні виконують роль сполучної ланки між кров'ю і тканинами, беручи безпосередню участь у регуляції транспорту лейкоцитів і функціонуванні системи згортання крові. Також ФНП як ключовий регулятор запального та імунологічного процесів відіграє важливу роль у патогенезі захворювань внутрішніх органів, нервової й ендокринної систем, очей, шкіри, суглобів тощо [1].

Біологічні ефекти ФНП залежать від його концентрації. У низьких концентраціях цитокін діє в місці індукції, як пара- і аутокринний регулятор аутоімунних реакції — при травмах або інфекціях. ФНП є основним стимулятором для нейтрофілів і ендотеліальних клітин, адгезії і подальшої міграції лейкоцитів, проліферації фібробластів і ендотелію при загоєнні ран. У помірних концентраціях ФНП, потрапляючи в кров, діє як гормон, що володіє пірогенним ефектом, стимулюючи утворення фагоцитів, посилює згортання крові, знижує апетит, є важливим фактором розвитку кахексії при таких хронічних захворюваннях, як туберкульоз і рак [2].

Цитотоксичну дію ФНП на пухлинні клітини пов'язують з деградацією ДНК і порушенням функціонування мітохондрій. Літичний ефект ФНП посилюється за наявності інтерферону. Один із механізмів синергічної дії вказаних цитокінів полягає в посиленні експресії рецепторів до ФНП на пухлинних клітинах під впливом інтерферонів.

Таким чином, ФНП виконує роль не тільки ефекторного медіатора цитотоксичності, забезпечуючи лізис злоякісних клітин-мішеней, але й бере участь у регуляції різних фізіологічних і патологічних процесів в організмі. Подальше вивчення біологічної активності ФНП, особливо механізмів її реалізації, слугуватиме підґрунтям для детальної розробки показань і методик клінічного застосування цитотоксичного поліпептиду не тільки при лікуванні хворих із злоякісними пухлинами, а й в інших галузях клінічної медицини, а також для пошуків нових лікарських засобів, що регулюють його продукцію в організмі.

**Мета дослідження:** на основі огляду літературних джерел проаналізувати сучасні препарати фактора некрозу пухлин, їх способів отримання та можли-

вих модифікацій ФНП, що дасть змогу підвищити біологічну активність цитокіну і знизити його токсичність.

**Викладення основних результатів дослідження.** Нині в онкології застосовують ряд клінічних лікарських препаратів на основі рекомбінантних цитокінів, таких як ФНП, інтерлейкіни (ІЛ), фактора, що інгібує міграцію фагоцитів (МІФ), інтерферонів (ІФН) тощо. Проте повністю досліджених препаратів на основі цитокінів, які пройшли всі стадії клінічного дослідження, відносно небагато, особливо тих, основою яких є рекомбінантний фактор некрозу пухлин. Препарати рекомбінантного ФНП (як лікарські засоби, так і ті, що призначені лише для наукових досліджень) випускаються у формі ліофілізованого порошку. У табл. 1 узагальнено дані про препарати на основі ФНП, що застосовуються в лікарській практиці.

*Таблиця 1. Препарати рекомбінантного фактора некрозу пухлин*

Назва препарату/фірма і країна-виробник	Діюча речовина	Застосування
РЕФНОТ®/«Рефног-Фарм», Росія	ФНП-тимозин альфа-1 рекомбінантний	Терапія раку молочної залози; в комплексній терапії з хіміопрепаратами.
Фактор некрозу пухлин альфа (рчTNFα)/НДКТІ БАР ДНЦ ВБ «Вектор», Росія	ФНП-альфа	
Лейкінферон/НДКТІ БАР ДНЦ ВБ «Вектор», Росія	ІФН-альфа та інші цитокіни (ФНП, ІЛ-1, ІЛ-6 та ін.)	Гострий гепатит В, хронічний активний гепатит В, хронічний гепатит С, гострі конділоми, кліщовий енцефаліт, тріхолойкоз, множинна мієлома, неходжкінська лімфома, шкірна Т-клітинна лімфома, саркома Капоші хворих на СНІД, хронічний мієлолейкоз, карцинома сечового міхура, карцинома нирки, меланома, респіраторний папіломатоз гортані, первинний і вторинний тромбоцитоз, перехідна форма хронічного гранулоцитарного лейкозу і мієлофіброзу, ретикулосаркома.
Суперлімф/Центр імунотерапії «Иммунохелп», Росія	Природний комплекс імунопептидів з мол. масою менше 40 кД з активністю ряду цитокінів (ФНП, МІФ, ІЛ-1, ІЛ-6)	Терапія захворювань різної етіології, що супроводжуються запаленням і порушенням репарації, а також гострих хронічних запальних захворювань, пов'язаних з розвитком локального імунodefіциту.
Бефнорин/НДКТІ БАР ДНЦ ВБ «Вектор», Росія	Рекомбінантний ФНП-бета	Імуностимулюючий, протипухлинний та антиметастатичний засіб.

Крім зареєстрованих лікарських засобів на основі ФНП, нині ряд виробників випускають рекомбінантні препарати ФНП для наукових досліджень (табл. 2). Зокрема, США є одним із світових лідерів у виробництві і продажу

рекомбінантних ФНП як комерційних препаратів для наукових цілей. Варто звернути увагу на те, що рекомбінантний ФНП отримують тільки завдяки культивуванню генетично модифікованих клітин. Для продукції ФНП використовують такі системи синтезу: прокаріотичні — на основі *Escherichia coli*, одноклітинні еукаріотичні — *Saccharomyces cerevisiae* та *Pichia pastoris*, перещеплювані культури еукаріотичних клітин — CHO (лінія клітин яєчника китайського хом'ячка, від англ. *Chinese hamster ovary*) [3—5].

**Таблиця 2. Препарати рекомбінантного фактора некрозу пухлин для наукових досліджень**

Комерційна назва препарату	Виробник / країна	Продуцент/ чистота, %
Recombinant Human Tumor Necrosis Factor Alpha (TNF-alpha)	Invitrogen Corporation / USA	<i>E. coli</i> /95%
Recombinant Human TNF- $\alpha$	Bio-techno/R&D Systems / USA	<i>E. coli</i> /97%
Recombinant Human TNF- $\alpha$	BioVision Incorporated / USA	<i>E. coli</i> />98%
Tumor Necrosis Factor- $\alpha$ , Human, Recombinant	Promega Corporation / USA	<i>E. coli</i> />96%
Tumor Necrosis Factor-alpha (TNF- $\alpha$ ), Human ( <i>P. pastoris</i> -expressed)	GenScript / China	<i>P. pastoris</i> />95%
T7539 (Tumor Necrosis Factor- $\alpha$ , recombinant)	Sigma-Aldrich Chemie GmbH / Germany	<i>E. coli</i> />98%
Recombinant Human Tumor Necrosis Factor-beta	ProSpec Bio / Germany	<i>P. pastoris</i> />97%
Human tumor necrosis factor-beta (TNF-b)	BioWORLD / USA	<i>E. coli</i> />98%

Перше покоління очищених препаратів ФНП отримували завдяки культивуванню імунокомпетентних тваринних або людських моноклеарних клітин (табл. 3), стимулюючи утворення ФНП бактеріальними ліпополісахаридами (ЛПС) або рослинним фітогемаглютеніном (ФГА) [6; 7; 8]. Але отримання препарату таким способом є довготривалим і трудомістким, крім того, вказані клітини-продуценти не забезпечують високий вихід цільового продукту.

**Таблиця 3. Індукція синтезу ФНП у моноклеарних клітинах людини**

Тип клітин	Індуктор	Концентрація індуктора, мкг/мл	Кількість ФНП, мг/мл
Моноклеарні клітини плевральної рідини людини	ЛПС	0,1	$7,2 \cdot 10^{-1}$
	Рицин	5—10 пМ	$8,0 \cdot 10^{-1}$
	Ліпоарабіноманнан	10	$4,0 \cdot 10^{-1}$
Моноклеарні клітини периферійної крові	Конканавалін А	5	$4,4 \cdot 10^{-1}$
	Полігідроксиалканоати	10	$19,4 \cdot 10^{-1}$
	<i>Staphylococcus aureus</i> Cowan	10	$58,0 \cdot 10^{-1}$
	Мікогенний порошок	5	$22,1 \cdot 10^{-1}$
	ФГА	20	$8,87 \cdot 10^{-1}$
	Антиген <i>Hirudo verbana</i>	125	$13,15 \cdot 10^{-1}$
	Антиген <i>H. medicinalis</i>	125	$15,59 \cdot 10^{-1}$
	Антиген <i>Helleborus orientalis</i>	125	$14,16 \cdot 10^{-1}$
	Антиген <i>Eisenia fetida</i>	125	$2,09 \cdot 10^{-1}$

Серед прокаріотичних клітин найбільш поширеними продуцентами рекомбінантного фактора некрозу пухлин є різні штами *E. coli* [9]. Зокрема, створено штам *E. coli* C600/pBV-TRAIL, за 30 год культивування якого вдається отримати до 1600 мг/л ФНП [10].

Для покращення біологічних властивостей ФНП, підвищення його активності та зменшення токсичності розробляють і досліджують різні модифікації даного цитокіну. Так, в [11] автори досліджували можливість поєднання доксорубіцину (антрацикліновий антибіотик, що використовується у хіміотерапії ракових пухлин) з ФНП. При цьому на поверхню наночасток карбонату кальцію нашаровували доксорубіцин, після чого пошарово наносили комплекс ФНП TRAIL-альгінат (ФНП-зв'язаний апоптоз-індукуючий ліганд з альгінатом), формуючи таким чином лікарську форму терапевтичного протиракового засобу. У такій лікарській формі саме ФНП-TRAIL залишався активною частиною даного комплексу і викликав апоптоз ракових клітин. Звільнення доксорубіцину також призводило до ціленаправленого лізису пухлинних клітин [11].

Є дані щодо можливості поєднання ФНП з фрагментами антитіл. Зокрема, досліджували нанокмлекс ФНП, що виступав у ролі полімерного ядра, оточеного ліпідною оболонкою з одноланцюговими фрагментами антиген-зв'язуючої області (Fv) антитіл. Комплекси стабілізували поліетиленгліколем (ПЕГ). Використання фрагментів антигензв'язуючої області антитіл проти стромального пухлинного маркерного білка активації фібробластів (FAP) давало змогу нанокмлексам специфічно зв'язуватись з FAP-експресуючими клітинами. Таким чином, за допомогою ліпосомального капсулювання наночастинки, що несуть біологічно активні молекули, які підлягають неселективному поглинанню і мають активність стосовно різних клітин і тканин, можуть бути перетворені в клітинно-специфічні композитні мішені, які проявляють селективну активність стосовно антиген-позитивної клітини-мішені [12].

Іншим прикладом модифікації є хімічна кон'югація поліетиленгліколю з ФНП за рахунок сукцинімідильного зв'язування з аміногрупами лізину в молекулі ФНП. У даному комплексі виявили зменшення токсичності ФНП, підвищення його протипухлинної активності (у 4—100 разів залежно від відсотка зв'язаних залишків лізину з ПЕГ, в межах від 29 до 56%) на моделі мишачої M-2 фібросаркоми [13].

ФНП можна модифікувати з використанням наночасток металів, зокрема золота. Так, на поверхні наночасток золота (30 нм) адсорбували молекули фактора некрозу пухлин, стабілізовані поліетиленгліколем. Застосування даних наночасток досліджували на моделі карциноми нирок з використанням радіочастотної амбляції. Нанокмполит ФНП з наночастками золота збільшував зону дії абляції, що підтверджує можливість його використання у лікуванні пухлин з використанням радіочастотної амбляції [14]. В іншому дослідженні підтверджена можливість неспецифічного зв'язування ФНП з цитрат-стабілізованими наночастками золота. Дана модифікація захищає фактор некрозу пухлин від адсорбції специфічних анти-ФНП антитіл [15].

Варто зазначити, що у більшості випадків дослідники використовували поліетиленгліколь для утворення комплексних нанокмполитів. Процес

поєднання нативної молекули лікарського препарату з ПЕГ отримав назву пегілювання. Подібна хімічна модифікація фармакологічних препаратів пептидної структури спрямована на поліпшення їх переносимості, зниження імуногенності та підвищення періоду напіврозпаду.

Однак було б неввічливо вважати, що пегілювання несе тільки позитивний результат, а ПЕГ-кон'югати мають лише переваги над нативними пептидами. До основних недоліків пегілюваних пептидів відноситься можливе зменшення активності пептиду або уповільнення елімінації, що пов'язане з вибором неправильного розміру або структури ПЕГ. Також варто сказати, що всі види ПЕГ, включаючи їх етери, мають певну окисну активність (особливо при температурі вище 50° С) завдяки наявності пероксидних домішок і вторинних продуктів, утворених при автоокисненні. Тому ПЕГ має хоч і низьку, але певну токсичність. Серед недоліків процедури пегілювання є її складність, а також тривалість у часі, що робить її відносно дорогою.

### **Висновки**

Нині ведуться розробки і дослідження нових форм ФНП з метою створення на їх основі ефективних протипухлинних засобів. Більшість досліджень щодо модифікації фактора некрозу пухлин спрямовані на розробку ефективної лікарської форми для зручної доставки терапевтичного цитокіну до місця дії, або для збільшення біодоступності ФНП для організму. Все це свідчить про необхідність і перспективність подальших досліджень щодо створення нових протипухлинних препаратів на основі ФНП з покращеними терапевтичними властивостями.

### **Література**

1. Кевра М.К. Фактор некроза опухолей: регуляция продукции в организме / М.К. Кевра // Медицинские новости. — 1995. — № 6. — С. 12—25.
2. Grivennikov S.I. Immunity, inflammation and cancer / S.I. Grivennikov, F.R. Greten, M. Karin // Elsevier Inc. — 2010. — Vol. 140 — P. 883—899.
3. Recombinant production of bioactive human TNF-alpha by SUMO-fusion system — high yields from shake-flask culture / A. Hoffmann, M.Q. Müller, M. Gloser et al. // Protein Expr. Purif. — 2010. — Vol. 72(2). — P. 238—243.
4. Expression of a functional human tumor necrosis factor- $\alpha$  (hTNF- $\alpha$ ) in yeast *Saccharomyces cerevisiae* / Seung-Moon Park, Ae-Young Mo, Yong-Suk Jang, et al. // Biotechnol. and Bioeng. — 2004 — Vol. 9. — P. 292—296.
5. Пат. № 2556816 РФ. Штамм клеток яичников китайского хомячка — продуцент рекомбинантного антитела против фактора некроза опухоли альфа человека / А.В. Петров, А.С. Симбирцев, А.М. Ищенко и др. — опубл. 20.01.2013.
6. Cytokine production in cell culture by peripheral blood mononuclear cells from immunocompetent hosts / R.K. Katial, D. Sachanandani, C. Pinney et al. // Clin.Diagn.Lab.Immunol. — 1998. — Vol. 5(1) — P. 78—81.
7. Tumor necrosis factor (TNF) gene polymorphism influences TNF- $\alpha$  production in lipopolysaccharide (LPS)-stimulated whole blood cell culture in healthy humans / E. Louis, D. Franchimont, A. Piron et al. // Clin.Exp.Immunol. — 1998. — Vol. 113 — P. 401—406.
8. Синтез фактора некроза опухоли- $\alpha$ , апоптоз и некроз мононуклеаров, стимулированных растительными митогеном и антигенами кольцецов / А.С. Прилуцкий, А.К. Фролов, Д.А. Лесниченко и др. // Вісник Запорізького національного університету. — 2015. — № 2 — С. 166—174.

9. Скроцька О.І. Рекombінантні організми як перспективні продуценти фактора некрозу пухлин / О.І. Скроцька, Є.В. Харченко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Т. 23, № 1. — С. 42—48.

10. Improvement of expression level and bioactivity of tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (Apo2L/TRAIL) by a novel zinc ion feeding strategy / Ai-You Sun, Ya-Ling Shen, Ji-Cheng Yin et al. // *Biotech. Lett.* — 2006. — Vol. 28. — P. 1215—1219.

11. *Wei Cui* Fabrication of tumor necrosis factor apoptosis inducing ligand (TRAIL) / ALG modified CaCO<sub>3</sub> as drug carriers with the function of tumor selective recognition / Wei Cui, Yue Cui, Jie, Junbai Li // *J. Mater. Chem. B.* — 2013. — Vol. 1. — P. 1326—1332.

12. Targeted lipid-coated nanoparticles: Delivery of tumor necrosis factor-functionalized particles to tumor cells / S.K.E. Messerschmidt, A. Musyanovych, M. Altvater et al. // *Journal of Controlled Release.* — 2009. — Vol. 137 (1). — P. 69—77.

13. Molecular design of hybrid tumour necrosis factor alpha with polyethylene glycol increases its anti-tumour potency / Y. Tsutsumi, T. Kihiral, S. Tsunoda et al. // *Brit. Journ. of Canc.* — 1995. — Vol. 71. — P. 963—968.

14. Use of Tumor necrosis factor-alpha-coated gold nanoparticles to enhance radiofrequency ablation in a translational model of renal tumors / P.R. Nardi, T. Thekke-Adiyat, R. Goel et al. // Elsevier Inc. — 2010. — Vol. 76(2). — P. 494—498.

15. Tumor necrosis factor interaction with gold nanoparticles / D. Tsai, S. Elzey, F. Delrio et al. // *Nanoscale.* — 2012. — Vol. 4(10). — P. 3208—3218.



УДК 658.012.4

## UNCERTAINTY OF THE INSTITUTIONAL ENVIRONMENT FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE PROCESSING INDUSTRY OF UKRAINE

**M. Minenko**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Institutional environment  
sustainability  
Processing industry  
Associations of  
producers; trade unions  
Branch agreement  
Collective agreement  
Institutional changes*

---

**Article history:**

Received 09.11.2017  
Received in revised form  
30.11.2017  
Accepted 18.12.2017

---

**Corresponding author:**

M. Minenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

**ABSTRACT**

The paper emphates on the necessity of institutional changes to ensure the stability of food security and the development of transparent competitive conditions for the functioning of the processing industry of Ukraine. Such changes were substantiated, taking into account the threats that arose in connection with the monopolization of the product chain by one of its participants, the process of integration into European and world community, and also the "shadowing" of the national economy. The historical steps of reforming food, meat and dairy industry of Ukraine have been analyzed, which in fact led to the elimination of the institutional component, which determined their place and role in the system of economic relations. It is noted that the Department of Food of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, the association of producers, labor unions of the processing industry neither independently nor institutionaly can minimize losses and systematically defend the interests of owners, employees, consumers. The author's vision of possible institutional changes, which would contribute to the harmonization of the motivation component of the process of cultivation, processing and selling of products, was also determined, as well as the formation of an appropriate environment for the sustainable development of the processing industry of Ukraine was ensured. The forecast of expected benefits for employers and employees in case of signing the Branch Agreement and Collective Agreements is given.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-8

---

## НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ІНСТИТУЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

**М.А. Міненко**

*Національний університет харчових технологій*

*У статті акцентовано увагу на необхідності проведення інституційних змін для забезпечення стабільності продовольчої безпеки і створення прозорих кон-*

курентних умов функціонування переробної промисловості України. Обтунтовано такі зміни, враховуючи загрози, що виникли у зв'язку з монополізацією продуктового ланцюга одним із його учасників, процесом інтегрування в європейський і світовий простір, а також «мінізацією» національної економіки. Проаналізовано історичні кроки реформування харчової, м'ясної і молочної промисловості України, що фактично призвели до ліквідації інституційної складової, яка визначала їх місце та роль у системі економічних відносин. Зазначено, що департамент продовольства Міністерства аграрної політики та продовольства України, об'єднання виробників, профспілкові об'єднання переробної промисловості самостійно ні ресурсно, ні інституційно не можуть мінімізувати втрати і системно відстояти інтереси власників, найманих працівників, споживачів. Визначено авторське бачення можливих інституційних змін, що сприяли б гармонізації мотиваційної складової процесу вироциування, переробки і реалізації продукції, а також забезпечили створення належного середовища для сталого розвитку переробної промисловості України. Дано прогноз очікуваних переваг для роботодавців і найманих працівників у разі підписання галузевої угоди і колективних договорів.

**Ключові слова:** інституційне середовище, сталий розвиток, переробна промисловість, виробничі об'єднання, профспілкові об'єднання, галузева угода, колективний договір, інституційні зміни.

**Постановка проблеми.** Процес інтегрування в Європейське співтовариство і необхідність забезпечення конкурентоспроможності національного товаровиробника зумовлює потребу здійснення структурних інституційних перетворень, які мають збалансувати інтереси держави, бізнесу, споживача. Дослідження і використання в Україні позитивних практик, вироблення публічного механізму дієвої співпраці головних учасників продуктового ринку, враховуючи національні особливості, забезпечить формування середовища, що сприятиме створенню гарантованої продовольчої безпеки та ефективних умов функціонування моделі сталого розвитку аграрно-промислової сфери.

Саме сучасний стан економіки потребує системного аналізу попереднього періоду, організаційного і методологічного порівняння з механізмами інституційного становлення розвинутих країн світу, напрацювання нових прогресивних пропозицій, що, на нашу думку, дасть можливість мінімізувати втрати ресурсів для побудови на теренах незалежної України фахового інституційно спроможного і соціально відповідального середовища. Належний рівень фаховості, інституційності, соціальної орієнтованості стане основою конкурентоспроможності та інвестиційної привабливості держави в цілому й конкретних промисловостей і секторів національної економіки зокрема. Цим обумовлена актуальність нашого дослідження і необхідність ще раз привернути увагу не тільки науковців, а насамперед представників державних інституцій до проблеми монополізації інституційної вертикалі аграрно-промислової сфери єдиним представником продуктового ланцюга.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Економічні й соціальні доктрини інституціоналізму та його значення у гармонізації економічних інтересів

розкрито у працях А. Алчіана, Дж. Б'юкенена, М. Вебера, Т. Веблена, Г. Демзеца, Е. Дюркгейма, К. Ерроу, Р. Коуза, Дж. Коммонса, Р. Нельсона, Д. Норта, Р. Познера, О. Шпикуляка та інших. Разом із тим негативність впливу монополії одного і можливі втрати при цьому, що вже сьогодні є відчутними для кожного учасника процесу виробництва, переробки і реалізації продукції кінцевому споживачу, системно науковцями не досліджувалися.

**Мета статті:** проаналізувати ситуацію, що склалася в Україні на сучасному етапі розвитку, і визначити авторський варіант можливих шляхів формування відповідного інституційного середовища, яке могло б гармонізувати інтереси держави, підприємницьких кіл, споживача для сталості продовольчої безпеки та цивілізованих конкурентних умов функціонування переробної промисловості.

**Викладення основних результатів дослідження.** Забезпечення споживача якісними, доступними за ціною та у достатньому обсязі харчовими продуктами є головною стратегічною соціально значимою метою. Цієї мети можна досягнути за умови формування і підтримання на сучасному рівні середовища, що сприятиме ефективному й результативному функціонуванню підприємств переробної промисловості України. По суті, потрібно створити умови для їх сталого розвитку.

На практиці запорукою сталого розвитку промисловостей національної економіки мають бути три складові: інституційна, правова, економічна. Зазначені складові при фахово-збалансованому поєднанні свого впливу на діяльність суб'єктів господарювання конкретної промисловості сприятимуть їх збереженню, захисту, перспективам.

В умовах сьогодення можна констатувати: інституційна складова, що визначала місце та роль національної переробної промисловості в системі економічних відносин і забезпечувала організаційно-правове середовище їх ефективної діяльності, практично ліквідована. Ліквідація Міністерства хлібопродуктів, міністерств харчової, м'ясної і молочної промисловості України, а потім Державного департаменту продовольства призвела до монополізації інституційної вертикалі аграрно-промислового комплексу тільки одним учасником продуктового ланцюга (табл.).

*Таблиця. Реформування харчової, м'ясної і молочної промисловості України у період 1985—2015 років, сформовано автором з використанням [1]*

Форма управління	Роки	Регламентуючий документ
1	2	3
Державний аграрно-промисловий комітет УРСР (Держагропром УРСР)	1985—1991	Постанова ЦК КПРС та Ради Міністрів СРСР від 14.11.1985 № 1114 (Створений на базі Мінсільгоспу, Мінплодоовочгоспу, Мінм'ясомолпрому, Мінхарчопрому, Мінсільбуду, Мінсільгосптехніки)
Держагропром УРСР Республіканський комітет харчової та переробної промисловості (Укрхарчпром): Головне управління розвитку м'ясної промисловості	1989—1991	Постанова Ради Міністрів УРСР від 16 жовтня 1989 року № 253 «Про удосконалення управління в аграрно-промисловому комплексі республіки»

1	2	3
Головне управління розвитку молочної промисловості		Наказ по Укрхарчопрому від 6 листопада 1989 року № 2 «Питання організації Укрхарчопрому»
Держагропром УРСР		Ліквідований у травні 1991 р. Додаток № 1 до Постанови Кабінету Міністрів УРСР від 24.05.1991
Міністерство сільського господарства УРСР	1991—1992	Закон УРСР від 13 травня 1991 року № 10306-XII, стаття 1 «Про перелік міністерств та інші центральні органи державного управління УРСР»
Державний комітет УРСР з харчової та переробної промисловості при Кабінеті Міністрів УРСР (Держхарчопром): Головне управління м'ясної промисловості; Головне управління молочної промисловості	1991—1992	Створений згідно з Постановою Кабінету Міністрів УРСР від 24 травня 1991 року № 12 «Про порядок реалізації Закону УРСР «Про перелік міністерств та інші центральні органи державного управління УРСР»
Республіканський галузевий концерн м'ясної промисловості «Укрм'ясо», Республіканський галузевий концерн молочної промисловості «Укрмолпром»	1991—1993	Наказ Держхарчопрому УРСР від 12 серпня 1991 року №12 «Про створення республіканського галузевого концерну м'ясної промисловості «Укрм'ясо». Наказ Держхарчопрому УРСР від 12 серпня 1991 року №11 «Про створення республіканського галузевого концерну молочної промисловості «Укрмолпром» Постанова Кабінету Міністрів України від 23 квітня 1993 року
Міністерство сільського господарства і продовольства України: Головне управління м'ясної промисловості; Головне управління молочної промисловості (ліквідовані у березні 1997 р.)	1992—1997	Указ Президента України від 25 лютого 1992 року №98 «Про зміни у системі центральних органів державної виконавчої влади України»
Концерн «Укрм'ясо» Концерн «Укрмолпром» (у підпорядкуванні Мінсільгосппроду України)	1992—1993	Наказ Держхарчопрому від 20 березня 1992 року № 45 «Про передачу підприємств і організацій м'ясної та молочної промисловості до Міністерства сільського господарства і продовольства України»
Національна асоціація виробників м'яса та м'ясопродуктів України «Укрм'ясо»	1995	Створена зборами засновників 19 грудня 1995 року

1	2	3
Національна асоціація молочників України «Укрмолпром»	1995	Створена зборами засновників 12 грудня 1995 року
Міністерство аграрно-промислового комплексу України	1997—1999	Указ Президента України від 25 червня 1997 року № 693 «Про утворення Міністерства аграрно-промислового комплексу України»
Міністерство аграрної політики України	1999	Указ Президента України від 15 грудня 1999 року № 1573/99 «Про зміни у структурі центральних органів виконавчої влади»
Державний департамент продовольства Міністерства аграрної політики України	2000	Постанова Кабінету Міністрів України від 14 березня 2000 року № 489
Міністерство аграрної політики та продовольства України	2010	Указ Президента України від 09 грудня 2010 року № 1085/2010
Департамент продовольства Міністерства аграрної політики та продовольства України	2015	Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 03 серпня 2015 року № 310

Департамент продовольства, що сьогодні представляє інтереси переробників у структурі Міністерства аграрної політики та продовольства України, ні інституційно, ні ресурсно не може дієво впливати на процеси. Як наслідок, намагання керівників окремих виробничих об'єднань самостійно відстоювати інтереси переробників залежать від особистих зв'язків, «гарного настрою» тих державних посадовців, кого вони змушені турбувати через нагальні проблеми, що потребує витрат значних ресурсів для отримання бажаних результатів. Фактично, представники переробної промисловості стали жебраками у власній країні, які за це ще й платять, залишаючись одними з головних донорів зведеного бюджету. Водночас відбувається звільнення («зачищення») вітчизняного ринку харчових продуктів для експансії закордонними товаровиробниками, а угоди зі Світовою організацією торгівлі та Європейським Союзом стають гальмівним фактором для розширення ринків збуту за межами України.

На практиці, за умови реалізації заходів щодо євроінтеграції, однією із найбільш незахищених виявилася переробна промисловість. Обладнання, технології, стандарти, рівень кваліфікації кадрів у більшості випадків не відповідають європейським і світовим вимогам. Термін приведення у відповідність за основними із них спливає протягом 2017 року. Крім того, до 2020 року Європейський Союз планує обмежити пільгові умови для українських товаровиробників і відкрити кордони для вільної торгівлі. До зазначеного вище можна додати: невизначеність державної політики щодо місця та ролі переробників у царині аграрної сфери; проблеми, пов'язані з подоланням квот і сертифікаційних умов при виході на зовнішні ринки; штучний розрив між наукою та виробництвом; всезростаючий дефіцит кваліфікованих кадрів; відсутність сучасної бази для підготовки кадрового резерву тощо.

Все це створює суттєві загрози і має спонукати роботодавців в Україні об'єктивно оцінити свої перспективи й власні можливості. Яскравим прикладом негативних наслідків для переробної промисловості щодо несвоєчасного реагування роботодавців на європейські умови господарювання та намагання самотужки вирішувати проблеми є досвід Болгарії, Греції, Румунії. Саме в цих країнах збанкрутували цілі галузі, звільнивши власний ринок для закордонних товаровиробників.

Не менш негативними залишаються внутрішні загрози. Так, відповідно до заяв представників влади, близько 50% бізнесу працює в «тіні», а в переробній промисловості цей показник досягає 70%. Наслідком роботи підприємств у «тіні» є:

- придбання дешевої не сертифікованої сировини;
- застосування хімічних домішок;
- відсутність санітарних умов на виробництві;
- заробітна плата, у кращому випадку, на рівні мінімальної, решта у «конверті»;
- відсутність колективного договору з найманими працівниками.

Такий стан речей не сприяє розвитку підприємств переробної промисловості України, зменшує їх конкурентоспроможність, посилює соціальну напругу в трудових колективах, неминуче веде до банкрутства.

Крім виробничих об'єднань переробної промисловості, захищати інтереси як найманих працівників, так і власників намагаються профспілкові об'єднання, а саме:

- Всеукраїнська профспілка працівників харчової, переробної промисловості та суміжних галузей (свідоцтво про реєстрацію № 2050 від 24.02.2004, репрезентативність пройшла у 2017 р.);
- Всеукраїнська профспілка харчової та переробної промисловості (свідоцтво про реєстрацію №2020 від 31.12.2003, репрезентативність пройшла у 2017 р.);
- Всеукраїнська профспілка «Соціальний прогрес» (свідоцтво про реєстрацію № 1451 від 13.06.2000);
- Всеукраїнська професійна спілка «Співдружність» (свідоцтво про реєстрацію № 650762 від 12.07.2010).

У 2010 році (за ініціативи керівника Всеукраїнської профспілки працівників харчової, переробної промисловості та суміжних галузей, за участю перерахованих профспілок) для забезпечення результативності цієї роботи, а також для ведення переговорів та укладання галузевої угоди в харчовій, хлібопекарській та переробній промисловості України було створено Спільний представницький орган (СПО). На обліку учасників СПО близько 80 тис. членів (майже 300 первинних профспілкових організацій на 300 підприємствах). Географічно профспілкові організації СПО діють у 24 регіонах України.

Попри всі зусилля керівників всеукраїнських профспілок переробників, налагодити плідну співпрацю з Міністерством аграрної політики та продовольства України, Федерацією роботодавців агропромислового комплексу та продовольства України і Профспілкою працівників агропромислового ком-

плексу України щодо вирішення проблем у переробній промисловості у спосіб конструктивного та рівноправного діалогу — результатів не дало. Фактично мусимо констатувати, що відсутні умови формування фахового, інституційно збалансованого, соціально відповідального, конкурентно прозорого середовища для всіх учасників продуктового ланцюга.

Посилюються загрози для підприємств переробної промисловості ще й у зв'язку з підписанням нової редакції Генеральної угоди про регулювання основних принципів і норм реалізації соціально-економічної політики і трудових відносин в Україні (від 23 серпня 2016 року) [2]. Загрози пов'язані з тим, що всі суб'єкти господарювання на території України підпадають під норми цієї угоди. У випадку їх невиконання будуть застосовуватися відповідні штрафні санкції.

Мусимо констатувати, що за останні роки на національному ринку з'явилася тенденція серед окремих власників проводити кампанію з ліквідації на підприємствах переробної промисловості первинних профспілкових організацій. Відсутність профспілкової організації дає підстави не укладати колективний договір між роботодавцями і найманими працівниками. Це, на нашу думку, спричинено нерозумінням того, що, відстоюючи нагальні потреби найманого працівника, можна отримати середовище, яке за своїм рівнем фаховості і соціальної відповідальності сприятиме саме розвитку, а не стагнації. Тимчасові «переваги» для власника, у разі відсутності партнера в особі профспілки, досить швидко перетворюються на втрати, безпосередньо пов'язані із ставленням до виконання своїх обов'язків найманих працівників і відповідною оцінкою продуктів, що пропонуються для реалізації, споживачем.

У цивілізованих країнах продукція підприємства-виробника, що не має первинної профспілкової організації та не входить до складу репрезентативного соціально відповідального профспілкового об'єднання, викликає недовіру. Саме тому при маркуванні готової продукції, крім зазначення конкретного стандарту якості, на відповідність якого сертифіковане виробництво, вказується приналежність до конкретного профспілкового об'єднання, чим підкреслюється ставлення власника до питань соціальної відповідальності. Такій продукції споживач надає перевагу. Враховуючи зазначене, крім унеможливлення штрафних санкцій щодо невиконання умов Генеральної угоди, власники мають додаткову інституційну можливість підвищити конкурентні переваги своїх підприємств. Це можна реалізувати через процедуру підписання галузевої угоди, що своїм змістом збалансує соціально-економічні інтереси роботодавця і найманого працівника та сприятиме отриманню додаткових прибутків.

Підписантами такої Галузевої угоди, відповідно до норм Законів України «Про колективні договори і угоди», «Про соціальний діалог в Україні», «Про організації роботодавців, їх об'єднання, права і гарантії їх діяльності» [3 — 5], повинні бути репрезентативні інституції: з одного боку, об'єднання роботодавців, з іншого — профспілкове об'єднання. Сьогодні для підприємств переробної промисловості репрезентативний підписант з боку найманого працівника визначений, а репрезентативний підписант з боку роботодавця (власника), який може відслідковувати його інтереси, — не визначений.

За обставин, коли сільгоспвиробники і їх монопольні інституції прямо демонструють небажання враховувати інтереси всіх учасників продуктового ланцюга, ми пропонуємо реалізувати на практиці новий формат взаємовідносин. Цей формат передбачає створення громадської інституції переробників, яка має бути репрезентативною відповідно до Закону України «Про соціальний діалог в Україні» від 23 грудня 2010 року № 2862-VI та забезпечить координування дій для захисту інтересів саме переробної промисловості на державному та місцевому рівнях. Така інституція надаватиме послуги своїм учасникам за напрямками, які вони самі визначатимуть, а також запропонує умови для зменшення непередбачуваних ризиків впливу зовнішнього середовища. З огляду на це пропонуємо створити репрезентативне об'єднання роботодавців переробної промисловості та суміжних галузей.

Активна робота такої громадської інституції переробників надасть можливість системно вирішувати питання взаємовідносин роботодавців і найманих працівників через процедуру підписання Галузевої угоди та колективних договорів, до змісту яких буде включено пункти, що збалансують інтереси підписантів і забезпечать:

- роботодавцю економію до 20% прибутку і фонду оплати праці, за умови фінансування соціального пакета колективного договору через профспілку, що реально відстоює їх інтереси;

- додаткове зменшення на 10—20% податкового навантаження на підприємства, що будуть членами профспілки (залежно від розміру суб'єкта господарювання) завдяки тому, що профспілка неприбуткова організація і більшість виплат із її бюджету не обкладаються податком (фактично все, що роботодавець і профспілка визначать за умовами колективного договору);

- профспілці можливість виступати третьою стороною при вирішенні спірних питань між роботодавцем і державними інституціями для захисту економічних та соціальних інтересів роботодавців. Профспілка може висловити таку точку зору, яку роботодавцю, за певних обставин, буде зробити проблематично;

- спільне представлення інтересів і вплив на діяльність будь-якого державного органу через процедуру участі в діяльності громадських рад та інших публічних інституцій;

- спільне ініціювання розробки проектів законів і підзаконних актів та громадський супровід їх прийняття й реалізацію;

- проведення фахової експертизи й відстоювання спільних інтересів, беручи участь у процесі громадського обговорення і прийняття за основу проектів законів та інших нормативно-правових актів, що пропонують суб'єкти законодавчої ініціативи та інші зацікавлені сторони;

- проведення узгоджених заходів з обговорення і забезпечення захисту економічних та соціальних інтересів роботодавців і трудових колективів (інтерв'ю, прес-конференції, круглі столи, форуми, інші акції);

- вирішення інших питань, що будуть стояти на порядку денному.

Головною метою діяльності такого репрезентативного об'єднання має бути набуття правового статусу фахового, самоврядного і саморегульованого, що дасть можливість підприємствам переробної промисловості стати рівно-



правними суб'єктами публічного впливу при визначенні перспектив свого розвитку.

### **Висновки**

Інституційне середовище створюється людьми. Люди розвивають і змінюють інститути, враховуючи об'єктивні умови господарювання. Водночас інституційні зміни визначають те, як суспільство вважає за доцільне розвиватися в часі. Попри все, формування відповідного цивілізованого інституційного поля є однією з основних передумов ефективного функціонування промисловостей. Системне розуміння такого простору цілеспрямує дії всіх учасників, дасть змогу об'єктивно оцінити реалії щодо інституційної спроможності та вибрати раціональні шляхи її розбудови й місце кожної зацікавленої сторони у цьому процесі.

### **Література**

1. *Міненко М.А.* Фахові виробничі об'єднання (теорія, методологія, практика) : монографія. — Київ : ННЦ ІАЕ, 2010. — 358 с.
2. Генеральна угода про регулювання основних принципів і норм реалізації соціально-економічної політики і трудових відносин в Україні // Урядовий кур'єр. — 14.09.2016. — № 172. — (Нормативний документ Кабінету Міністрів України, ФПУ, інших. Угода, регламент, перелік, порядок від 23 серпня 2016 року № 0001120-16).
3. Про колективні договори і угоди // Урядовий кур'єр. — 31.07.1993. — (Нормативний документ Верховної Ради України. Закон від 01 липня 1993 року № 3356-XII).
4. Про соціальний діалог в Україні // Урядовий кур'єр. — 16.02.2011. — № 29. — (Нормативний документ Верховної Ради України. Закон від 23 грудня 2010 року № 2862-VI).
5. Про організації роботодавців, їх об'єднання, права і гарантії їх діяльності // Урядовий кур'єр. — 22.08.2012. — № 151. — (Нормативний документ Верховної Ради України. Закон від 22 червня 2012 року № 5026-VI).

## SOCIAL AND LABOUR PRACTICES OF CORPORATES IN FOOD INDUSTRY

T. Berezianko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Social responsibility*

*Labour practices*

*Survey*

*EU*

*Evaluation*

*Remuneration strategy*

---

**Article history:**

Received 05.11.2017

Received in revised form

29.11.2017

Accepted 08.12.2017

---

**Corresponding author:**

T. Berezianko

**E-mail:**

npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Corporate social responsibility is recognized as a tool for implementation of the conflict free system of market development. Hence, it put a key focus on the analysis of social and labour practices of the entities operating in food industry. As a part of this research we used EU methodology adapted for national environment. Some gaps were filled by the conclusions received in a course of private interviews. The implementation of European market society standards urges the companies to put in place the responsibility-centered labour relationships as a daily practice. To analyze the labour practice of the corporates we investigated the remuneration strategy, regularity of salary changes, systems of variable bonuses, remuneration gaps for certain positions. We paid separate attention to the attitude of the managers towards their employees as company's competitive advantage. As a result of our research we identified the personnel's attitude towards the company and defined the level of conflict prone situations between employees, managers and the owners. As a final point of our research, we evaluated the level of corporate social responsibility due to the EU methodology.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-9

---

## СОЦІАЛЬНО-ТРУДОВІ ПРАКТИКИ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Т.В. Березянко

Національний університет харчових технологій

*Інструментом створення безконфліктної системи розвитку в ринкових умовах визнано впровадження системи суспільної та соціальної відповідальності бізнесу, тому аналіз соціально-трудова практик підприємств харчової промисловості став головним акцентом даного дослідження. Використовувалась адаптована до національних умов методика ЄС, деякі прогалини доповнювались відповідями індивідуальних інтерв'ю. Стандарти відповідальних трудових відносин європейського ринкового суспільства потребують впровадження у щоденну практику діяльності компанії. З метою аналізу трудової практики підприємств досліджено стратегію оплати, періодич-*

ність зміни ставки, стратегію винагороди, змінні бонуси, розбіжності оплати окремих посад. Також увагу приділено ставленню керівників до персоналу, як до конкурентної переваги. В результаті дослідження виявлено ставлення працівників до компанії та визначено рівень конфліктності між працівниками, менеджментом і власниками. Дослідження завершено оцінкою рівня корпоративної соціальної відповідальності, виконаного за методикою ЄС.

**Ключові слова:** соціальна відповідальність, трудові практики, анкетування, ЄС, оцінка, стратегія винагороди.

**Постановка проблеми.** Харчова промисловість відіграє особливу роль у вирішенні продовольчого забезпечення будь-якої країни. Експертами визнається, що харчова промисловість є тим двигуном, що може не тільки забезпечити суттєве зростання ВВП, а й пом'якшити тиск кризових явищ у національній економіці.

У ЄС дотримання вимог корпоративної соціальної відповідальності (КСВ) вважається основним чинником залучення інвестицій від інституціональних організацій. За результатом дослідження Світової ради бізнесу із стабільного розвитку, орієнтація на соціальну відповідальність і державне партнерство надають додаткові можливості в обсязі 6,2 млрд дол. США для компаній, що їх застосовують [1]. Реалізація Концепції соціальної відповідальності передбачає впровадження у щоденну практику діяльності компанії комплексу аспектів організації відповідального управління, дотримання прав людини у процесі діяльності, налагодження соціально відповідальних трудових відносин, ведення чесної операційної діяльності, захист навколишнього середовища, дотримання та розвиток системи захисту прав споживача, підтримку розвитку місцевих громад і співпраця з ними.

Міжнародна конференція МОП виокремила шість основних принципів, які допомагають підприємству зберігати стійкість і темпи розвитку [2]. Першим і основним є встановлення соціального діалогу та нормалізація умов праці (не тільки у плані безпеки та фізіологічних вимог), а й проведення колективних переговорів і консультацій, залучення працівників до участі у виробничому процесі на основі безконфліктних стосунків.

У сучасних умовах рафінованої конкуренції кваліфікований персонал є не тільки основою досягнення конкурентних переваг, а й гарантією збереження та розвитку потенціалу відповідального підприємства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковці всього світу наголошують на необхідності використання гідної оцінки праці як головної умови забезпечення стабільності в бізнесі та країні. Сучасним аспектам цього напрямку присвячено праці багатьох зарубіжних і вітчизняних дослідників [3—8].

**Мета статті:** дослідження трудових практик, визначення рівня відповідності або наближення до вимог організації відповідального управління, дотримання прав людини у процесі діяльності, налагодження соціально відповідальних трудових відносин у контексті реалізації завдань Концепції соціальної відповідальності ЄС.

**Матеріали і методи.** Основним матеріалом виконання дослідження слугували анкетні дані, експертні опитування та згруповані матеріали індивідуальних інтерв'ю. В результаті статистичного аналізу отриманих даних анкетних відповідей було побудовано матрицю спряженості, для якої розраховано коефіцієнт Пірсона.

**Результати і обговорення.** Проведене протягом 2009—2016 рр. опитування у 34 компаніях харчової промисловості, а також експертів-практиків дало змогу сформуванню нижченаведених масивів інформації. Суспільно відповідальні підприємства повинні використовувати корпоративну соціальну відповідальність, аби досягти стійких результатів. Цей підхід закріплено у Тристоронній декларації МОП щодо корпорацій і соціальної політики.

*Таблиця 1. Отримані ефекти від впровадження елементів соціально відповідальної поведінки*

Показник	Харчова промисловість	Олігопольне ядро	Великі підприємства	Середні підприємства
Плинність кадрів, %	16—60	9,5—16,9	16,6	21,5
Продуктивність праці, тис. грн/осіб	—	12,7	7,1	14,8
Рівень контрактної культури	—	—	+	+
Понаднормове навантаження, %	73,0	90,3	89,9	88,2
Неповна зайнятість, %	30	22	12	1,2
Кількість заяв на одну вакансію	3—4	6	11	21
Задоволеність працею, %	34	37	43	42
Гендерна рівність	—	—	—	+
Умови та безпека праці	+	+	+	+
Працевлаштування людей з обмеженими можливостями	—	—	+	+

Стратегія винагороди працівників залежить від розміру та приналежності компанії. Нами проаналізовані окремі посади на обраних підприємствах. Для забезпечення правила роботи з мінімальною вибіркою було розглянуто такі позиції:

- стратегія винагороди, позиція компанії у сфері оплати праці в ринковому сегменті та регіоні, періодичність перегляду ставки оплати праці, наявність категорії «ключовий співробітник»;
- оцінка ефективності праці співробітників, наявність методики оцінки, періодичність оцінки, вплив оцінки на результати винагороди;
- змінні бонуси.

Так, зафіксовано зниження рівня задоволення працею у харчовій промисловості, підвищення плинності кадрів, зростання рівня навантаження, а також інші негативні зміни в кадровій політиці. Працівники пов'язують це з необхідністю економії у час кризи і скороченням соціальних виплат на під-

приємствах — захід економії. Принаймні таке відмітили 67% співробітників підприємств, що брали участь в опитуванні [9; 10].

*Таблиця 2. Стратегія винагороди працівників, %, укладено автором*

Показник	Олігопольне ядро	Великі підприєм.	Середні підприєм.	Малі підприєм.	Мікро-підприєм.
Вчасність виплати зарплати	100	92	78	50	50
Щорічний перегляд зарплат	75	40	15	—	—
Відповідність ринку	90	65	40	20	—
Виокремлення «ключового персоналу»	15	—	—	—	—
Наявність системи оцінки ефективності персоналу	40	35	15	—	—
Наявність змінної частини винагороди	60	50	50	25	15
Рівень навантаження	1,8	1,6	1,2	1	1

У більшості випадків стратегія оплати орієнтовна на середнє значення по ринку для середніх і малих підприємств, знаходиться на рівні верхнього значення або незначним чином перевищує його — для великого бізнесу підгалузі і значно випереджає — для підприємств олігопольного ядра із значною іноземною часткою.

*Таблиця 3. Прозорість стратегії додаткової винагороди, %*

Показник	Олігопольне ядро	Великі підприєм.	Середні підприєм.	Малі підприєм.	Мікро-підприєм.
Виплати за продуктивність праці	11,2	5,1	1,2	—	—
Гарантовані виплати*	86,3	90,1	84,2	—	—
Компенсації за ненормований робочий графік	2,3	—	—	—	—
Грошові пільги	28,1	12,2	2,0	—	—
Матеріальні пільги	17,4	5,3	4,7	—	—

До складу гарантованих виплат включено заробітну плату за штатним розкладом і фіксовані бонуси: доплати за стаж, кваліфікацію та професійні навички, що не прив'язані до бізнес-діяльності компанії, які можуть виплачуватись у кінці року або щомісячно.

Жодна із досліджених компаній не дотримується на практиці 40-годинного робочого тижня, але і не нараховує додаткової платні за понаднормові витрати робочого часу. Лише у двох компаніях у фабулі контракту зазначений рядок щодо компенсації понаднормових витрат робочого часу при розрахунку оплати відпустки. Практично у всіх компаній ведеться контроль щорічних відпусток, 6% компаній надають своїм працівникам додаткові дні до відпустки. Ця практика застосовується здебільшого у середніх компаніях, що були раніше самостійними заводами з переробки харчової продукції. При

цьому враховується стаж роботи на підприємстві, а не індивідуальні понаднормові витрати часу. На 64% малих і мікропідприємствах протягом року застосовувалась практика надання короткострокових відпусток без надання лікарняного листа. Ця пільга використовувалась усіма категоріями співробітників. Середня тривалість вказаного періоду становила 4 дні, але застосовувалась 2—3 рази на рік, що сумарно складає 12 днів повної оплати неформалізованої відпустки.

Половина компаній, здебільшого великого та середнього корпоративного сегменту, надавала співробітникам додаткові оплачувані відпустки з поважних причин. Найбільш вживаною аргументацією були: весілля — 32%; догляд за дитиною або близькими — 30%; нетерміновий ремонт сантехніки та автомобіля — 18%; відвідування лікаря — 10%; похорон — 4%; народження дитини — 3%.

Лише 13% компаній проводять формалізовану оцінку ефективності діяльності персоналу, яка базується на досягненні поставлених цілей і критеріях оцінки праці.

*Таблиця 4. Вплив факторів визначення внеску до сукупного прибутку на винагороду персоналу, %, укладено за матеріалами MAZARS та інтерв'ю*

Показник	Результати діяльності підприємства	Результати діяльності команди	Індивідуальні результати
Топ-менеджмент	—	—	—
Менеджмент середньої ланки	85	10	5
Спеціалісти бізнес-функцій	60	26	14
Спеціалісти адмінфункцій	60	24	16
Спеціалісти з продажу	80	—	20
Робочий персонал	55	30	15
Ключовий персонал	—	—	—

Доволі значний інтерес представляє фактор «бонуси та пільги», який іноді стає засобом неформальної заробітної плати. З боку компанії надання пільг і бонусів є вагомим засобом винагороди персоналу та суттєвою статтею витрат компанії. Фактичні бонуси нараховуються співробітникам за досягнення бізнес-цілей (індивідуальних, групових, корпоративних) і виплачуються у кінці року, півріччя або кварталу чи бізнес-сезону. До їх складу включаються доплати за особливі умови праці, комісійні від продажу.

*Таблиця 5. Ставлення керівників харчової промисловості до персоналу як конкурентної переваги, %, укладено автором за джерелом: [11]*

Показник	Київська обл.	Харківська обл.	Полтавська обл.	Хмельницька обл.	Вінницька обл.	АР Крим
1	2	3	4	5	6	7
Наявність кваліфікованих працівників	70	40	57	32	69	30

*Продовження табл. 5.*

Дешева робоча сила	31,1	50	20	30	44	60
Політика жорсткого середовища	60	67	43	55	82	44
Стимулювання ротації кадрів	44	54	58	62	70	44
Частка підприємств харчової продукції	36,4	25,4	17,4	29,4	54,6	28,3

Часто змінні бонуси виплачуються за результатами роботи або оцінки і розраховуються як відсоток від заробітної плати. Крім того, використовуються цільові бонуси у вигляді відсотка до зарплати, які нараховуються за досягнення працівником 100% поставлених цілей. До складу показника загальна винагорода включено всі види доплат, бонусів і наданих пільг у перерахунку на грошовий еквівалент за цінами ринку.

**Таблиця 6. Структура пільг на підприємствах корпоративного сектору харчової промисловості, %**

Показники	Корпоративне ядро	Великі підприємства	Середні підприємства	Малі підприємства
Харчування, проживання, проїзд	37,1	63,1	28,8*	11,2
Медичне страхування	89,6	32,1	—	—
Корпоративні, спортивні та соціальні заходи	76,2	18,4	—	—
Оплата мобільного зв'язку	96,1	28,6	21,2	23,4
Корпоративні автомобілі	31,4	10,3	—	—
Фінансові пільги, позики, допомога	35,2	7,2	—	—

**Примітка\*** У групі опитаних підприємств зафіксовано лише компенсацію проїзду, але за даними інтерв'ю наявна оплата харчування.

Мейнстрімом сучасного періоду є проголошення корпоративної соціальної відповідальності ключовим показником ефективності (KPIs), що використовуються для оцінки діяльності як співробітників, так і самої компанії. Показники КСВ включено в оцінку топ-менеджменту та менеджерів середньої ланки при виплаті бонусів: досягнення показників КСВ дає змогу отримувати 10% бонусів у компанії ALPRO Soya (виробник соєвих напоїв, США) [12]; 20% — у SONY; 33% — у Danone [13]; 40% — у Enel [14]. В ЄС КСВ KPIs включено в оцінку роботи керівників усіх рівнів і співробітників. Це дає змогу перейти від декларації намірів і прагнень до реального втілення вимог.

**Таблиця 7. Виплата бонусів за групами і категоріями персоналу досліджуваних компаній харчової промисловості, укладено автором за результатами опитування та інтерв'ю**

Показник	Виплати за продуктивність праці	Гарантовані виплати	Компенсації за не нормований робочий графік	Грошові пільги	Матеріальні пільги
Топ-менеджмент		*		*	*
Менеджмент середньої ланки		*		*	*
Спеціалісти бізнес-функцій	*	*			*
Спеціалісти адміністративних функцій		*			*
Спеціалісти з продажу	*	*		*	
Виробничий персонал	*	*			

Характерним для всіх підприємств є відсутність виокремлення групи ключового персоналу у складі працівників.

**Таблиця 8. Оцінка компанії працівниками** (бали, 5 — максимально), укладено автором за результатами опитування та інтерв'ю

Показники	Олігопольне ядро	Великі	Іноземні	Середні	Малі
Колектив і корпоративна культура	3	2	4	3	1
Керівництво та ставлення до працівників	2	1	5	2	3
Умови роботи	4	5	5	3	2
Соціальний пакет і пільги	3	3	5	1	1
Перспективи професійного росту	2	1	2	1	1

З точки зору розподілу фонду оплати праці очевидною є практика відсутності компенсації понаднормового використання робочого часу, гарантовані виплати є квартальною премією і вважаються додатком до ставки заробітної плати, у категорії «робочий персонал» гарантовані виплати та премія за продуктивність праці збігаються і часто заміщують одне одного.

Другу проблему складає зростання тенденцій конфліктності, маніпуляцій і свідомої стагнації у менеджменті великих та олігопольних структур.

Протягом досить довгого часу в наукових публікаціях відбувалась полеміка щодо ринкової доцільності формування в компанії культури організації як складової ефективного менеджменту.

Типовими причинами, які не дають змоги реалізувати потенціал об'єднання зарубіжних компаній, є розбіжність у підходах до управління; несхожість корпоративних культур; відсутність планів для до- і після інтеграційного



періодів; недостатня увага до поточного бізнесу або критично важливих завдань інтеграції; низький рівень управління ризиками; нереалістична оцінка затрат, строків і перешкод; неефективне управління програмою інтеграції після укладення угоди.

*Таблиця 9. Рівень конфліктності відносин між робітниками та менеджментом/ власником (кількість обстежених підприємств), укладено автором за результатами опитування та інтерв'ю*

Підприємства	Рівень конфліктності на підприємстві			
	незначний	середній	високий	мотивація до звільнення
Малі	6	1	1	—
Середні	1	9	1	—
Великі	1	2	2	1
Олігопольні	—	—	1	2

Отримані результати надають можливість перейти до узагальненої оцінки трудових практик підприємств харчової промисловості на основі методик КСВ ЄС.

*Таблиця 10. Рівень соціальної та суспільної відповідальності в корпоративному секторі харчової промисловості, укладено автором*

Напрямок КСВ	Олігопольні	Великі	Середні	Малі
Формалізація політики КСВ	*			
Розкриття інформації про компанію	*			
Наявність соціальних програм	*	*	*	
Наявність перенавчання	*	*		
Формалізація етики ставлення до споживача	*	*	*	*
Співпраця з громадою (програми)	*	*	*	*
Етика відносин із акціонерами	*	*		
Екологічні програми	*			

Отримані результати підтвердили висновок, що переважно компанії, які проходять лістинг, особливо на іноземних фондових біржах, і мають ділові стосунки з компаніями з Європи впроваджують принципи соціальної відповідальності бізнесу. Проте в процесі було виявлено тенденцію, що у значній кількості випадків цей процес навіть серед компаній олігопольного ядра має здебільшого формальний характер.

*Таблиця 11. Оцінка рівня розвитку принципів корпоративної соціальної відповідальності в політиках компаній харчової промисловості, укладено автором за даними звітності SMIDA*

Напрямок КСВ політики	Максимальна оцінка	Олігопольне ядро	Великі підприємства	Середні підприємства
1	2	3	4	5
Трудові практики	20	8,6	8,6	8,6

1	2	3	4	5
Наявність кодексу менеджменту	4	0,1	0,1	0,1
Наявність програми соціального захисту	4	2	2	2
Наявність програми сприяння розвитку	4	2	2	2
Відсоток працівників, що уклали колдоговір	2	2	2	2
Дотримання гендерної рівності в бізнесі	3	0,5	0,5	0,5
Забезпечення умов праці (контроль нещасних випадків, оплати понаднормового навантаження)	3	2	2	2
Разом	100	18,6	20,8	19,1

Навіть усвідомлення позитивних наслідків від впровадження КСВ практики не стимулює реальної повноти добровільного їх впровадження. Жодна з компаній не використовує професійність персоналу як конкурентну перевагу, підхід залишається ресурсно-витратним. 46,2% респондентів спеціальних опитувань надання соціальних гарантій персоналу забезпечить мало не кратне підвищення ефективності показників діяльності та конкурентоспроможності. Майже 32,5% опитуваних наголошують на необхідності правової регламентації питань соціальної відповідальності.

### **Висновки**

У результаті проведеного нами протягом 2009—2016 рр. опитування працівників 36 компаній харчової промисловості респонденти віднесли до складу характеристик суспільно відповідальної компанії такі чинники: випуск товарів високої якості (22%), більш високу оплату праці (28%), надання пакета соціального захисту працівникам і членам їх сімей (23%), допомогу у вирішенні соціальних проблем (12%), захист робочих місць (22%), охорону навколишнього середовища (10%), чітку сплату податків (10%), надання підтримки бідним прошаркам населення та благодійність (9%), захист національних інтересів (16%). Дещо відрізняється підхід вищого менеджменту до проблеми суспільної відповідальності підприємства: 67% опитаних ранжували характеристики відповідальності у такому порядку: отримання прибутку, сплата податків, забезпечення робочими місцями, підтримка соціальних програм і суспільства в цілому, діяльність у рамках закону; 27% менеджменту звузили підхід лише до трьох чинників: отримання прибутку, забезпечення робочими місцями, діяльність у рамках закону. Вказане змушує прийти до думки щодо існування перерозподільчих очікувань у сегменті

працівників і формального — у сегменті вищого менеджменту. На наш погляд, це свідчить про збереження невизначеності у стратегіях розвитку підприємств, а також про затяжний період «аморального бізнесу» у національних ринкових відносинах, для виходу з якого годі чекати природного еволюціонування на ґрунті десятка прикладів, а скоріше треба використовувати методи державного управління та стимулювання процесу переходу до суспільно відповідальної конструкції корпоративного сектору.

### **Література**

1. G-20.Офіційні матеріали : Додаток 3. Макети політики макроекономічної стабільності та соціальної відповідальності для всіх країн G-20 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://ru.g20russia.ru/documents/#p2>.
2. Promulgation de la loi sur l'Economie Sociale et Solidaire : pour une croissance économique créatrice d'emplois non délocalisables [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://procu-pubminefi.diffusion.finances.gouv.fr/pub/document/18/17847.pdf>
3. Інститут стратегічних досліджень: Ukraine-analysen. № 136 [Ел. журнал]. — Режим доступу : [www.laender-analysen.de/ukraine](http://www.laender-analysen.de/ukraine);
4. *Портер М.* Конкурентоспособность и социальная ответственность / М. Портер, М. Креймер // *Har. Bus. Rev.* — Москва : ЗАО «Алмаз-Пресс», 2007. — № 3. — С. 73—86;
5. Обзор оплаты труда — PwC, Human resources, 2013 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [http://www.pwc.com/en\\_UA/ua/press-room/2013/assets/paywell\\_012\\_13\\_ukraine\\_demoverision\\_rus\\_prot.pdf](http://www.pwc.com/en_UA/ua/press-room/2013/assets/paywell_012_13_ukraine_demoverision_rus_prot.pdf);
6. *Ерхард Л.* Социально-рыночное хозяйство / Л.Ерхард // *Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков. В 5 Т. / Сопред.научно-ред. совета Г.Г. Фетисов, А.Г. Худокормов, Т.Ш. Эпоха социальных переломов / Отв. ред. А.Г. Худокормов.* — Москва : Мысль, 2005. — 896 с.
7. Нова стратегія Європейської комісії з корпоративної соціальної відповідальності (КСВ) 2011—2014 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://www.csr-ukraine.org/strategiya\\_evropeyskoi\\_komisii\\_html](http://www.csr-ukraine.org/strategiya_evropeyskoi_komisii_html);
8. Діагностика стану та перспектив розвитку соціальної відповідальності в Україні (експертні оцінки): монографія / О.Ф. Новікова, М.С. Дейч, О.В. Панькова та ін.; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. — Донецьк, 2013. — 296 с.
9. Исследование «Влияние кризиса на украинские компании» - Ернст и Янг, вх. № 219798 від 11.11.2008. — Апарат ВРУ.
10. Обзор оплаты труда — PwC, Human resources, 2013 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://www.pwc.com/en\\_UA/ua/press-room/2013/assets/paywell\\_2012\\_13\\_ukraine\\_demoverision\\_rus\\_prot.pdf](http://www.pwc.com/en_UA/ua/press-room/2013/assets/paywell_2012_13_ukraine_demoverision_rus_prot.pdf).
11. Інвестиційна привабливість регіонів // Опитування Київського міжнародного інституту соціології — Київ, 2013. — 337 с.
12. ALPRO [Електронний сайт]. — Режим доступу : <http://www.alpro.com/ru/products/-drinks/soya-plain>.
13. Danone [Електронний сайт]. — Режим доступу : <http://danone.ua/>.
14. Enel [Електронний сайт]. — Режим доступу : <http://enel.ru/>.

## DYNAMICS OF TRANSITION PROCESSES IN SYSTEMS OF ANAEROBIC FERMENTATION

O. Shevchenko, A. Sokolenko, O. Stepanets, O. Boiko, I. Vinnichenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Anaerobic fermentation*  
*Solubility*  
*Saturation*  
*Gas phase*  
*Mass transfer*  
*Gas-liquid medium*  
*potential*  
*Altitude gradient*

---

**Article history:**

Received 06.11.2017  
Received in revised form  
27.11.2017  
Accepted 14.12.2017

---

**Corresponding author:**

O. Shevchenko

**E-mail:**

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

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-10

---

**ABSTRACT**

The article presents the results of the phenomenological analysis of the flow of aggregate processes under conditions of anaerobic fermentation, examines the differences that accompany them in the brewing and alcohol industries. The estimation of energy potentials is carried out, recommendations of their use are offered. Firstly, it is formulated the position on the formation of the gas-liquid medium formed as a result of synthesis of CO<sub>2</sub> and the formation of a dispersed gas phase. It is indicated on the existence of the high-altitude gradient for saturation of the liquid phase on CO<sub>2</sub> because of the expense of hydrostatic pressure. The estimated data are also provided.

## ДИНАМІКА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ АНАЕРОБНОГО БРОДІННЯ

О.Ю. Шевченко, А.І. Соколенко, О.І. Степанець, О.О. Бойко, І.М. Вінніченко

Національний університет харчових технологій

*У статті викладено результати феноменологічного аналізу перебігу сукупності процесів в умовах анаеробного бродіння, розглянуто відмінності, що супроводжують їх у пивоварінні і спиртовій галузях. Виконано оцінку енергетичних потенціалів, запропоновано рекомендації щодо їх використання. Вперше сформульовано положення про формування потенціалу газорідного середовища, що виникає в результаті синтезу CO<sub>2</sub> і утворення диспергованої газової фази, а також вказано на існування висотного градієнта по насиченню рідинної фази на CO<sub>2</sub> за рахунок гідростатичного тиску. Наведено відповідні розрахункові дані.*

**Ключові слова:** анаеробне бродіння, розчинність, насичення, газова фаза, масообмін, потенціал газорідного середовища, висотний градієнт.

**Постановка проблеми.** Зазвичай, до перехідних процесів анаеробного і аеробного бродіння відносяться режими лаг-фази і доброджування, які характеризуються обмеженими проявами життєдіяльності дріжджових культур. Лаг-фаза обумовлюється необхідністю адаптації дріжджів-цукроміцетів до нових умов середовища з подоланням осмотичних, температурних і хімічних шоків, а режим доброджування пов'язується з низькою концентрацією живильних речовин і осмотичними тисками. Останнє у більшості випадків стосується етилового спирту і діоксиду вуглецю, динаміка накопичень яких пов'язана з алгоритмами основного етапу бродіння.

До числа недоліків анаеробного бродіння відносяться обмежена кінцева концентрація етилового спирту на рівні 8...10% і матеріальний баланс біохімічного процесу, за яким близько 50% глюкози як живильного середовища перетворюється в діоксид вуглецю. Ці головні і незмінні недоліки супроводжуються трьома похідними від них, що стосуються необхідності використання значних об'ємів культуральних середовищ, синтезу біологічної теплоти бродіння, значних енерговитрат на перегонку.

Численні зусилля мікробіологів у напрямку створення осмофільних дріжджів-цукроміцетів залишаються нереалізованими, за винятком обмежених успіхів у технологіях вторинного зброджування виноматеріалів з досягненням 12-відсоткової концентрації  $C_2H_5OH$  [1—3]. Однак у виробництві шампанського технологічною особливістю є необхідність одержання концентрації  $CO_2$  на рівні 10 г/л, тоді як вміст етилового спирту корегується додаванням у шампанізований матеріал коньячного спирту.

У пивоварній галузі проблеми накопичення етилу і діоксиду вуглецю практично подолані, тоді як виробництво етилового спирту потребує втручання хоча б на рівні вказаних похідних недоліків. Розв'язання таких завдань доцільно здійснювати в напрямку використання внутрішніх енергетичних потенціалів газорідних середовищ.

**Метою статті** є аналіз і оцінка енергетичних потенціалів культуральних середовищ у процесах анаеробного бродіння та розробка рекомендацій щодо реалізації їх використання.

**Методика дослідження** передбачає поглиблений аналіз гідродинамічного стану газорідних культуральних середовищ на основі положень гідромеханіки і термодинаміки.

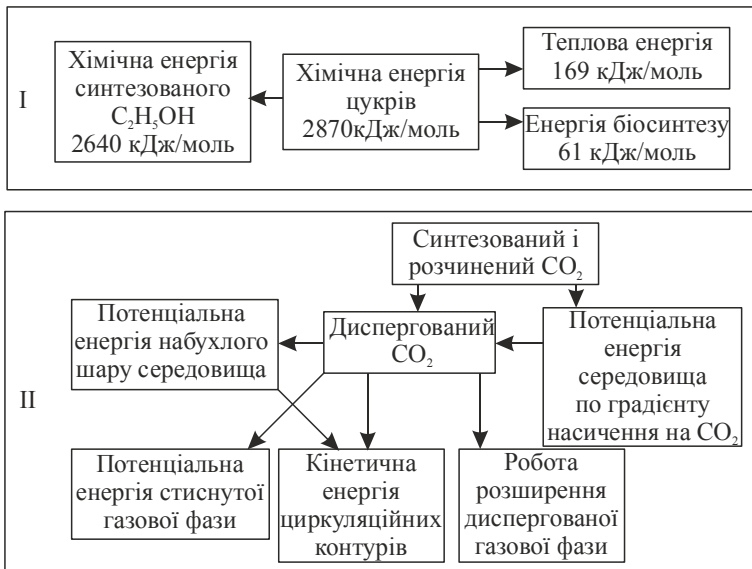
**Викладення основних результатів дослідження.** До внутрішніх енергетичних потенціалів зброджуваних культуральних середовищ відносяться:

- потенціальна енергія набухлого шару за рахунок газотримувальної здатності;
- потенціальна енергія газового надрідного об'єму;
- кінетична енергія самоплинних або організованих циркуляційних контурів;
- потенціал середовища за градієнтом насичення середовища по гідростатичному тиску;
- біологічна теплота ендogenous синтезу спирту і діоксиду вуглецю;
- робота розширення диспергованої газової фази.

Названі потенціали наявні в газорідних середовищах і мають прояви в самоплинних процесах, рушійні фактори яких у більшості пов'язані з утворенням диспергованої газової фази. Першопричиною їх появи є синтез діоксиду вуглецю (закон Гей-Люссака) з подальшим переліком процесів масообміну на границі поділу фаз, насичення ним рідинної фази (закон Генрі), утворення диспергованої газової фази, прояви законів Архімеда і Стокса з утворенням динамічної газотримувальної здатності, відповідальної за потенціальну енергію набухлого шару і кінетичну енергію циркуляційних контурів.

Утворення потенціалу середовища по градієнту насичення рідинної фази діоксидом вуглецю пояснюється законами Генрі і гідростатичного тиску. Однак наявність такого градієнта в умовах самоплинного хаотичного процесу за існування циркуляційних контурів помітно обмежує прояв його потенціалу.

З наведеного переліку енергетичних потенціалів зброджуваних середовищ лише біологічна теплота синтезу  $C_2H_5OH$  і  $CO_2$  зовнішньо випадає із загальної сукупності взаємодій інших енергетичних потенціалів, хоча вона є логічним супроводом останніх. Самоплинність названих процесів енергетичною основою має хімічну енергію неперервного розпаду і трансформації цукрів у спирт і діоксид вуглецю.



**Рис. 1. Структура енергетичних потенціалів зброджуваних середовищ**

На рис. 1 схематично показана структура енергетичних потенціалів, що складається з двох блоків, перший з яких представлений хімічною енергією розчинених цукрів з балансом хімічної енергії синтезованих  $C_2H_5OH$  і енергії біохімічного синтезу. Вказані тут співвідношення є загальнознаменними [1; 3; 4] і супроводжуються кількісними показниками, тоді як блок II сформовано на основі феноменологічних висновків. Його першопричиною прийнято вважати синтезований і розчинений діоксид вуглецю, енергетич-

ний потенціал якого не має проявів від початку зброджування середовищ до досягнення стану насичення. Рушійний градієнт у зростанні концентрації розчиненого  $\text{CO}_2$  стосується двох факторів — атмосферного тиску та прояву гравітаційного поля у формі гідростатичного тиску, і визначається різницею граничного насичення рідинної фази на  $\text{CO}_2$  і плинного значення цього показника.

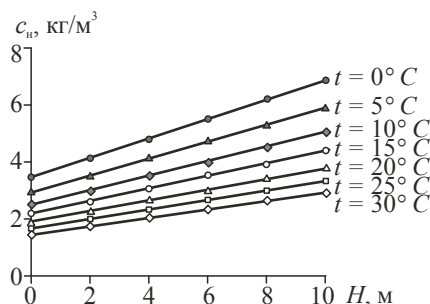
За сучасними уявленнями, зброджувальні властивості дріжджів-цукроміцетів помітно обмежено реагують на збільшення фізичних тисків і на цій підставі можливо припустити існування рівномірності процесу бродіння у повному об'ємі технологічного апарата. При цьому видно (табл.), що стала насичення середовища на  $\text{CO}_2$  помітно залежить від гідростатичного тиску, що визначає існування висотного градієнта за показником  $c_n$ .

*Таблиця.* Залежність граничної насиченості рідинної фази на  $\text{CO}_2$  від гідростатичного тиску середовища при зовнішньому тиску 0,1 МПа і температурі 30° С

Гранична насиченість, кг/м <sup>3</sup>	1,554	1,628	1,776	1,924	2,072	2,220	2,368	2,516	2,664	2,812	2,960
Гідростатичний тиску рідинної фази, м в. ст.	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Прояви дії названих енергетичних потенціалів починаються від моментів досягнення стану насичення й утворення диспергованої газової фази. Остання під дією архімедових сил починає спливання, відбувається набухання газорідинного середовища. Поступово утворення диспергованої газової фази продовжується в напрямку заглиблення, що завершується газоутворенням у повному об'ємі.

На рис. 2 наведена графічна інтерпретація залежності граничної розчинності  $c_n$  діоксиду вуглецю від гідростатичного тиску і температури рідинної фази середовища. Аналізуючи графіки, можна зробити висновок про перспективи використання градієнтів насиченості середовищ для інтенсифікації процесів масообміну в напрямках організованих циркуляційних контурів і режимах зміни температур.



**Рис. 2.** Залежність сталої насичення на  $\text{CO}_2$  середовища від висоти рідинного шару при сталій швидкості бродіння і зовнішньому тиску 0,1 МПа

Динаміка насичення середовища пов'язана зі швидкістю зброджування цукрів  $dG_{\text{ц}}/d\tau$  і, відповідно, зі швидкістю синтезу  $\text{CO}_2$  у формі:

$$\frac{dG_{\text{CO}_2}}{d\tau} = \frac{dG_{\text{ц}}}{d\tau} \cdot \frac{2 \cdot 44}{180} = 0,48 \frac{dG_{\text{ц}}}{d\tau}, \quad (1)$$

де  $dG_{\text{CO}_2}$  і  $dG_{\text{ц}}$  — відповідно, концентрації цукрів і діоксиду вуглецю в режимі бродиння і насичення середовища; 180 і 44 — молекулярні маси глюкози і діоксиду вуглецю;  $\tau$  — час перебігу процесу.

За умов  $dG_{\text{ц}}/d\tau = \text{const}$  і  $dG_{\text{CO}_2}/d\tau = \text{const}$  можливим є визначення часу насичення на різних глибинах  $H$  рідинного середовища:

$$\tau_{(к)} = \frac{c_{\text{н}}(H)}{0,489 \frac{dG_{\text{ц}}}{d\tau}}. \quad (2)$$

За первинної концентрації цукрів  $160 \text{ кг/м}^3$  і подовженням часу бродиння до 72 год середня швидкість процесу складає:

$$\frac{dG_{\text{ц}}}{d\tau} = \frac{G_{\text{ц}}}{\tau} = \frac{160}{3600 \cdot 72} = 0,00062 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}). \quad (3)$$

Відповідно, отримуємо:

$$\frac{dG_{\text{CO}_2}}{d\tau} = 0,489 \cdot 0,00062 = 0,000303 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}). \quad (4)$$

Оскільки для значень  $H$  від 1 до 10 м граничні значення  $c_{\text{н}}$  складають  $1,628$  і  $2,96 \text{ кг/м}^3$ , то кінцевий час насичення досягається за:

$$\tau_{(к)1} = \frac{1,628}{0,489 \cdot 0,00062} = 5369,7, \quad c = 1,49 \text{ год}; \quad (5)$$

$$\tau_{(к)10} = \frac{2,69}{0,489 \cdot 0,00062} = 88,73, \quad c = 2,46 \text{ год}. \quad (6)$$

Існування градієнта насичення в діапазоні значень  $H = 1 \text{ м}$  і  $H = 10 \text{ м}$  розпочинається від моменту досягнення  $\tau_{(к)1}$  в зростаючому варіанті до  $\tau_{(к)10}$ . У загальному випадку висотний градієнт визначається залежністю:

$$\text{grad } c_{\text{н}} = \frac{\Delta c_{\text{н}}}{\Delta H}. \quad (7)$$

Відповідно, за умови температури середовища  $30^\circ \text{C}$  отримуємо:

$$\text{grad } c_{\text{н } 30^\circ \text{C}} = \frac{c_{\text{н}10} - c_{\text{н}1}}{10 - 1} = \frac{2,96 - 1,68}{9} = 0,148 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} / \text{м}, \quad (8)$$

а при  $t = 0^\circ \text{C}$  градієнт зростає до значення:

$$\text{grad } c_{\text{н } 0^\circ \text{C}} = \frac{6,886 - 3,784}{9} = 0,344 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} / \text{м}. \quad (9)$$



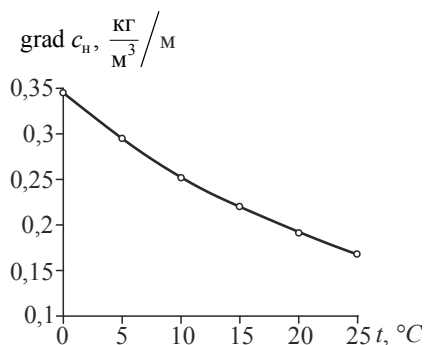
Розраховані значення градієнтів повної висоти рідинної фази від нуля до 10 м складають за значень таких температур:

$$t = 0^\circ \text{C} \text{ grad } c_{\text{H } 0^\circ \text{C}} = 0,344 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} / \text{м}; \quad t = 15^\circ \text{C} \text{ grad } c_{\text{H } 15^\circ \text{C}} = 0,219 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} / \text{м};$$

$$t = 5^\circ \text{C} \text{ grad } c_{\text{H } 5^\circ \text{C}} = 0,294 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} / \text{м}; \quad t = 20^\circ \text{C} \text{ grad } c_{\text{H } 20^\circ \text{C}} = 0,191 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} / \text{м};$$

$$t = 10^\circ \text{C} \text{ grad } c_{\text{H } 10^\circ \text{C}} = 0,252 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} / \text{м}; \quad t = 25^\circ \text{C} \text{ grad } c_{\text{H } 25^\circ \text{C}} = 0,167 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3} / \text{м}.$$

Наведені співвідношення та їх графічна інтерпретація (рис. 3) вказують на зростання градієнта зі зниженням температури, що за інших рівних умов відповідає фізичній суті закону Генрі.



**Рис. 3. Графік залежності градієнта насиченості від температури середовища**

Це одночасно означає зростання енергетичного потенціалу газонасиченого середовища, у тому числі при перебуванні його в стані статичної рівноваги. Прояв такого потенціалу з трансформацією в потенціальну і кінетичну енергію можливий лише за зовнішнього збурення у формі зниження тиску або підвищення температури. Очевидно, що перший з них технічно легко реалізується, тоді як другий є значно інертнішим у реалізації.

За перебігу звичайного процесу бродіння від досягнення граничного насичення середовища в повному об'ємі починається активна фаза виведення CO<sub>2</sub> у кількості масового потоку, що відповідає його синтезу:

$$\frac{dG'_{\text{CO}_2}}{d\tau} = 0,489 \frac{dG_{\text{II}}}{d\tau} V_{\text{р.ф.}} \text{ кг/с}, \quad (10)$$

де  $V_{\text{р.ф.}}$  — об'єм рідинної фази в апараті, м<sup>3</sup>.

Об'ємний потік на межі поділу газорідинного середовища і надрідинної газової фази становить:

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{dG'_{\text{CO}_2}}{d\tau} / \rho \text{ м}^3/\text{с}, \quad (11)$$

де  $\rho$  — питома маса CO<sub>2</sub>, кг/м<sup>3</sup>.

Об'ємний газовий потік  $V_{\text{CO}_2}$  дає змогу оцінити приведену швидкість газової фази:

$$w_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{F} = \frac{dG'}{d\tau} / (F\rho) \text{ м/с}, \quad (12)$$

де  $F$  — площа поперечного перерізу бродильного апарата.

У більшості технологій, пов'язаних із взаємодією газових і рідинних фаз, із завданнями сорбції або десорбції саме показник приведенної швидкості використовується для моделювання гідродинамічних режимів і повноцінних характеристик процесів [5; 6]. Практично він нівелює вплив геометричних параметрів апаратів аеробного й анаеробного синтезу, хімічних реакторів, десорберів тощо за рахунок введення у формулу (12) площі поперечного перерізу апарата.

Важливим доповненням до приведенної швидкості газової фази в оцінках гідродинамічного стану газорідинних середовищ є їх газотримувальна здатність. Оскільки остання є об'ємом газової фази, що одночасно знаходиться в середовищі, то це означає, що вона визначає величини поверхні та інтенсивність масопередачі, потенціальну енергію набухання газорідинної суміші та кінетичну енергію циркуляційних контурів. За відомого об'ємного потоку  $V_{\text{CO}_2}$ , що синтезується в середовищі, газотримувальна здатність визначається залежністю:

$$u = V_{\text{CO}_2} \frac{H'}{w_{\text{сплив.}}} \text{ м}^3, \quad (13)$$

де  $w_{\text{сплив.}}$  — абсолютна швидкість спливання диспергованої газової фази, м/с;  $H'$  — повна висота середовища.

Вказана швидкість  $w_{\text{сплив.}}$  є сумою відносної швидкості  $w_{\text{відн.}}$ , яка регламентується рівністю архімедових сил і сил опору середовища, та швидкістю  $w_{\text{ц.к.}}$  винесення газової фази в циркуляційних контурах:

$$w_{\text{сплив.}} = w_{\text{відн.}} + w_{\text{ц.к.}} \quad (14)$$

Для рідинних середовищ із фізико-хімічними характеристиками близькими до води значення  $w_{\text{відн.}}$  наближені до показників 0,23...0,25 м/с, тоді як абсолютні швидкості спливання помітно залежать від величин газових потоків і, наприклад, у режимах примусової аерації досягають значень 0,5...0,6 м/с.

Наведене рівняння (14) в сукупності з умовою (13) і на основі експериментального виміру набухання середовища  $H_{\text{наб.}}$  дають змогу визначити  $w_{\text{ц.к.}}$  у такій послідовності:

$$u = H_{\text{наб.}} F; \quad w_{\text{сплив.}} = V_{\text{CO}_2} \frac{H'}{u} = \frac{V_{\text{CO}_2} H'}{H_{\text{наб.}} F}; \quad w_{\text{ц.к.}} = \frac{V_{\text{CO}_2} H'}{H_{\text{наб.}} F} - w_{\text{відн.}} \quad (15)$$

Одержане значення  $w_{\text{ц.к.}}$  надає можливість у першому наближенні визначити кінетичну енергію циркуляційних контурів на основі припущення про участь в них маси всієї рідинної фази  $m_p$ :

$$E_{\text{кін.}} = m_p \frac{w_{\text{ц.к.}}^2}{2} = \frac{m_p}{2} \left( \frac{V_{\text{CO}_2} H'}{H_{\text{наб.}} F} - w_{\text{відн.}} \right). \quad (16)$$

З останньої умови видно узагальнену оцінку впливу геометричних параметрів середовища й апарата. Збільшення висоти шару середовища  $H'$  приводить до зростання кінетичної енергії системи, тоді як збільшена площа  $F$  поперечного перерізу в ізооб'ємних апаратах призводить до зменшення потенціалу кінетичної енергії.

Значення  $E_{\text{кін.}}$  є керованим параметром, потужний прояв якого пов'язаний з швидкоплинним імпульсним зниженням тиску в газовому надрідинному об'ємі. Реакція системи при цьому проявляється у формі десатураційного виділення газової фази з кожного кубічного метра середовища у кількості:

$$\Delta c = k \left( p_{(n)} - p_{(к)} \right) \text{ кг/м}^3, \quad (17)$$

де  $p_{(n)}$  і  $p_{(к)}$  — відповідно, початковий і кінцевий тиски газової фази в надрідинному об'ємі, бар;  $k$  — константа Генрі,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{бар})$ .

Повне виділення газової фази в цьому перехідному процесі становить:

$$\Delta c' = k \left( p_{(n)} - p_{(к)} \right) V_{\text{рід.}} \text{ кг}, \quad (18)$$

де  $V_{\text{рід.}}$  — об'єм рідинної фази,  $\text{м}^3$ .

Очевидно, що в такому процесі показники умов (15) і (16) будуть значно перевищені порівняно з усталеними режимами, однак і при цьому рідинна фаза залишається в стані граничного насичення на  $\text{CO}_2$ . Для ліквідації останнього недоліку має місце лише один варіант у формі швидкоплинного підвищення тиску газової фази в надрідинному об'ємі, за якого різко зростає показник граничного насичення  $c_n$  відповідно до закону Генрі.

У циркуляційних контурах наявний самоплинний процес десатурації і подальшого насичення середовища в послідовних переміщеннях газорідинного середовища у висхідній, а потім в опускній частинах контурів. Однак доцільно відмовитися від самоплинності в таких процесах і перейти до організованої циркуляції по всій висоті середовища [7]. В цьому випадку реалізується потенціал висотного градієнта з додатковою функцією корегування і вирівнювання температурного поля, що особливо важливо у випадках сорочкових систем охолодження циліндро-конічних бродильних апаратів. Трансформація глюкози в спирт в режимі анаеробного бродіння супроводжується різницею вільної енергії Гіббса:

$$\Delta G = 2870 - 2640 = 230 \text{ кДж/моль глюкози},$$

а залишок у кількості 169 кДж/моль трансформується в теплоту. При циклічному зброджуванні в кожному кубічному метрі середовища зі 160 кг глюкози кількість біологічної теплоти повинна скласти близько 150220 кДж. Цієї теплової енергії за теплоти пароутворення спирту  $r_{\text{сп.}} = 910,9 \text{ кДж/кг}$  вистачає для відгонки 165 кг, що майже вдвічі перевищує питомий вихід спирту при бродінні.

Однак сучасні технології перегонки потребують трансформації низькопотенціальної теплоти у високопотенціальну, наприклад, за рахунок використання теплових насосів.

### Висновки

Виконаний аналіз особливостей перебігу процесів анаеробного зброджування цукровмісних середовищ, масообмінних, гідродинамічних і термодинамічних процесів дає змогу зробити такі висновки:

1. Зброджувані середовища характеризуються двома енергетичними джерелами. Першопочатковим з них є хімічна енергія цукрів, яка підлягає мікробіологічним трансформаціям з визначеними співвідношеннями у формі вільної енергії Гіббса і теплоти переходу від АТФ до АДФ.

2. Залишок теплової енергії у кількості 169 кДж/моль глюкози частково бере участь у створенні циркуляційних газорідних контурів.

3. Синтез діоксиду вуглецю дріжджовими клітинами і створення диспергованої газової фази в рідинній у гравітаційному полі у формі гідростатичних тисків, законів Архімеда і Генрі створює джерело механічної енергії в проявах потенціальної і кінетичної енергії. Це надає можливість:

- інтенсифікувати масообмінні процеси, забезпечувати зміни десатураційних явищ зі зниженням осмотичних тисків і відновленням сатураційних властивостей середовища за рахунок змінних програмованих тисків з витримкою в часі пауз на десатурацію (знижений тиск) і активовану сатурацію (підвищений тиск);

- забезпечувати організовану повноглибинну циркуляцію для використання потенціалу градієнта висотного насичення середовища на CO<sub>2</sub>;

- використовувати трансформовану біологічну теплоту бродіння для перегонки.

### Література

1. Кунце В. Технология солода и пива / В. Кунце. — Санкт-Петербург : Профессия, 2001. — 912 с.

2. Лензюн С.В. Розвиток методів розрахунку і обладнання транспортно-технологічних систем у виробництві шампанських вин : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Лензюн Сергій Валентинович ; НУХТ. — Київ, 2011. — 139 с.

3. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика : монографія / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійничук. — Київ : ВД Асканія, 2009. — 424 с.

4. Соколенко А.І. Особливості трансформацій енергоматеріальних потоків у замкнутих енергетичних контурах / А. І. Соколенко, В. А. Піддубний, О. В. Коваль // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Т. 23. — № 3. — С. 101—106.

5. Палаш А.А. Розвиток теоретичного підґрунтя і удосконалення обладнання для культивування мікроорганізмів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / Палаш Анатолій Анатолійович ; НУХТ. — Київ, 2009. — 20 с.

6. Шевченко О.Ю. Особливості трансформацій матеріальних і енергетичних потоків у бродильних середовищах / О.Ю. Шевченко, І.М. Вінніченко, О.І. Степанець, О.О. Бойко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2017. — Т. 23. — № 3. — С. 107—115.

7. Патент 47939 UA, МПК C12F 3/08 (2006.01) Бродильний апарат / Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Миколай І.М., Бут С.А., Піддубний В.А., Лензюн С.В. ; заявник Національний університет харчових технологій. — № u200910298 ; заявл. 12.10.2009 ; опубл. 25.02.2010, Бюл. № 4, 2010 р.

8. Патент 75184 UA, МПК C12F 3/08 (2006.01) Бродильний апарат / Чагайда А.О., Піддубний В.А., Соколенко А.І. ; заявник Національний університет харчових технологій. — № u201205226 ; заявл. 27.04.2012 ; опубл. 26.11.2012, Бюл. № 22, 2012 р.

## THE RESEARCH OF EJECTOR WITH A COMPACT AND ATOMIZED LIQUID JET FOR SULPHITATION IN THE SUGAR INDUSTRY

Ya. Khitriy, V. Ponomarenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Sulphitation*  
*Nozzle*  
*Ejector*  
*Mixing chamber*  
*Laboratory setup*  
*Volume ratio ejection*

---

**Article history:**

Received 14.11.2017  
Received in revised form  
30.11.2017  
Accepted 11.12.2017

---

**Corresponding author:**

Ya. Khitriy  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

This article is devoted to the study of the hydrodynamics of two-phase flow in an ejection device with an extended mixing chamber and a compact dispersed liquid jet. The scientific literature describing the operation of various types of sulfitators has been analyzed, and jet type machines have been pointed out to be the most common. The operation of the jet type sulfitators has been studied, their defects have been revealed and main directions of their modernization have been indicated. In order to establish jet patterns of the fluid in the ejection device, a laboratory facility, which design has been described in this work, has been designed and manufactured. By experiments we managed to establish the dependence of the ejection coefficient on the main geometric characteristic when using it as a motive nozzle of jet and centrifugal-jet nozzles. The analysis of the results allowed determining the values of optimal geometric characteristics of the ejector for all types of jet machines.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-11

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЖЕКТОРІВ З КОМПАКТНИМ І ДИСПЕРГОВАНИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ ДЛЯ СУЛЬФІТАТОРІВ У ЦУКРОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Я.С. Хитрий, В.В. Пономаренко

Національний університет харчових технологій

*У статті досліджено гідродинаміку течії двофазного потоку в ежекційному апараті з подовженою камерою змішування та компактним і диспергованим струменем рідини. Проаналізовано наукову літературу, в якій описано роботу сульфитаторів різних типів і зазначено, що найпоширенішими є апарати струминного типу. Розглянуто роботу сульфитаторів струминного типу, виявлено недоліки та вказано основні напрями їх модернізації. Для встановлення закономірностей течії рідини в ежекційному апараті спроектовано та виготовлено лабораторну установку, конструкцію якої описано в статті. Дослідами встановлено залежність коефіцієнта ежекції від основної геометричної характеристики при використанні як робочого сопла струминної*

та відцентрово-струминної форсунок. Аналіз отриманих результатів дав змогу визначити значення оптимальної геометричної характеристики ежектора для всіх типів розпилювачів.

**Ключові слова:** сульфітатор, форсунка, ежектор, камера змішування, лабораторний стенд, об'ємний коефіцієнт ежекції.

**Постановка проблеми.** Сульфітація води є важливим процесом у технологічній ланці цукрового заводу, яка передбачає оброблення рідини сірчистим ангідридом з метою встановлення регламентованого значення рН, пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів і стерилізації. Від якості її проведення залежить ефективність роботи дифузійних апаратів і ступінь знецукрення стружки.

На цукрових заводах для сульфітації використовують апарати різних типів: зрошувальні, барботерні, струминні [1], а також їх модифікації, наприклад, сульфітатор з вібруючими пластинами, основою конструкції якого є зрошувальний сульфітатор [2].

Сульфітатори зрошувального та барботажного типу мають суттєві недоліки: неповне використання (близько 70%) ангідриду сірки внаслідок його недостатнього контакту з рідиною, значне забруднення атмосфери, великі габаритні розміри та висока питома металомісткість [2].

Сульфітатори з вібруючими пластинами показали свою ненадійність під час роботи внаслідок зниження пружних властивостей гумових пластин [1].

Найпоширенішими є сульфітатори струминного типу. Вони прості у виготовленні й обслуговуванні, компактні, мають низьку питому металомісткість. Проте за час їх експлуатації виявлено низку недоліків, а саме:

- низький термін служби окремих деталей унаслідок контакту з агресивним середовищем;
- низький коефіцієнт використання сульфітаційного газу, що спричинює корозію витяжної труби;
- низька інтенсивність процесу масообміну між газовою та рідкою фазами, що призводить до невідповідності регламентним значенням рН;
- загазованість робочого місця.

Виявлені недоліки усувають модернізацією апаратів сульфітації. Одним із напрямів модернізації, спрямованим на збільшення терміну служби, є заміна матеріалу деталей сульфітатора з чавуну на нержавійну сталь [3]. Це дало змогу підвищити термін служби та зменшити питому масу сульфітатора. Проте через значну вартість нержавійної сталі не кожен споживач готовий на таке рішення. Інші пропозиції стосуються виконання елементів корпусу апарата з полімерного матеріалу.

Напрямом інтенсифікації процесу масообміну та підвищення коефіцієнта використання сульфітаційного газу є також удосконалення конструкції струминного апарата сульфітатора. Пропонується в камері змішування сульфітатора встановлювати завихрювачі, які інтенсифікують процеси масообміну за рахунок турбулізації потоку рідини [4].

У сульфітаторах типової конструкції як розпилювач використано диск з отворами, який формально є струминною форсункою з малим кутом розпиле-

ння, а формування на краплі відбувається на великій відстані від сопла форсунки. у результаті цього отримують компактний струмінь з невеликою площею контакту. Проте для ефективного проведення масообмінних процесів важливе значення має площа контакту фаз. Значно збільшити її можна заміною типу розпилювача: диска з отворами (струминна форсунка) на відцентрово-струминну форсунку [5]. Це забезпечує рівномірне заповнення площі поперечного перерізу камери змішування конічним факелом розпиленої рідини з кутом розкриття 40...60°. Для регулювання витрати рідини через апарат доцільно встановлювати регульовану відцентрово-струминну форсунку з нахиленим розміщенням підвідних каналів [6]. Її переваги:

- можливість регулювання в широких межах витрати рідини;
- надійність роботи завдяки достатньо великим прохідним перерізам;
- дрібнодисперсне розпилення рідини, що забезпечує високу поверхню та інтенсивну масопередачу.

Ефективність роботи сульфитатора можна підвищити вдосконаленням конструкції самої камери змішування:

- встановлення в ній напрямного апарата [7] для турбулізації пристінних шарів [8], що інтенсифікує процес масопередачі;
- встановлення в камері змішування сітки для додаткового подрібнення та швидшого вирівнювання профілів концентрацій, тисків [9].

Перелічені роботи з удосконалення сульфитаційних апаратів виконували виходячи з накопиченого досвіду, іноді на інтуїтивному рівні без належного дослідження його гідродинаміки, що не дає змоги науково обґрунтовано підійти до визначення основних геометричних розмірів ежектора та його проектування.

**Мета дослідження:** для проектування ежектора високої ефективності встановити залежність коефіцієнта ежекції від основної геометричної характеристики при використанні як робочого сопла струминної та відцентрово-струминної форсунок (ежектор з диспергованою струминою та подовженою камерою змішування).

**Матеріали і обладнання.** Для дослідження гідродинаміки ежекційного апарата створено лабораторну установку. Тиск контролювали за допомогою манометра пружинного типу ОБМ1-160. Витрату рідини вимірювали лічильником води ЕТМ КВ 1,5. Витрату газу вимірювали газовим лічильником PREMA G1,6. Розрідження в приймальній камері ежектора контролювали диференційним манометром. Фотозйомку течії рідини в камері змішування проведено за допомогою цифрової фотокамери Canon SX130.

*Методика оброблення експериментальних даних.* Оброблення експериментальних даних і побудову графіків виконано за допомогою табличного процесора Microsoft Office Excel.

**Результати і обговорення.** Для встановлення закономірностей течії двофазного потоку в ежекційному апараті спроектовано та виготовлено лабораторну установку (рис. 1), до складу якої входить ежекційний пристрій, що є подовженою камерою змішування 9, приймальна камера 8, форсунка 7 та патрубки подачі рідини і газу. Рідина до розпилювача 7 ежектора подається насосом 1 під тиском, що контролюється манометром 6. Витрату рідини регулювали за допомогою крана 4.

Витрати рідини та газу контролювали за допомогою витратомірів 5, 12 об'ємного типу. Розрідження в ежекторі вимірювали дифманометром 11.

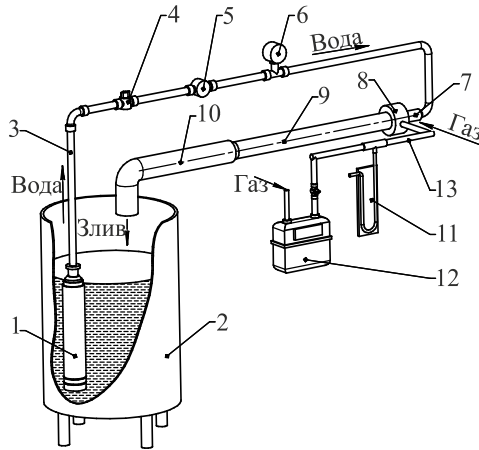


Рис. 1. Експериментальна установка:

1 — насос; 2 — місткість; 3 — трубопровід; 4 — регулювальна арматура; 5 — витратомір рідини; 6 — манометр; 7 — форсунка; 8 — приймальна камера; 9 — камера змішування; 10 — зливний трубопровід; 11 — дифманометр; 12 — витратомір газу; 13 — газопровід

Для візуального спостереження та фотозйомки течії емульсії в камері змішування використано скляну трубу, а воду, що циркулює в системі, забарвлено харчовим барвником.

Завдання першого етапу досліджень полягало в установленні закономірностей гідродинаміки течії рідини в ежекційному апараті, в якому як розпилювач використано струминну форсунку (рис. 2) з різними діаметрами сопел  $d_c = 3, 4, 6, 8$  мм. Тиск рідини змінювався в межах 0,05—0,245 МПа. Низькі тиски рідини характерні для роботи насосів цукрового заводу, тому аналіз роботи ежекторів за таких тисків є практичним завданням. Як камери змішування використано прозорі трубки діаметром,  $d_{к.з.} = 8, 15, 19, 27, 45$  мм.

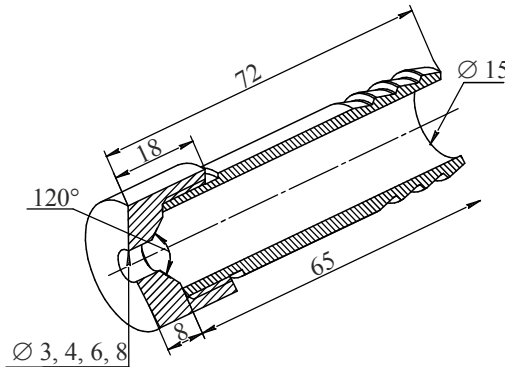


Рис. 2. Конструкція струминної форсунки, яку використано для дослідів

Під час дослідження роботи ежектора з  $d_c = 4$  мм і  $d_{к.з.} = 45$  мм (геометрична характеристика  $d_{к.з.}/d_c = 11,25$ ) встановлено, що коефіцієнт ежекції



рівний нулю. Струмінь рідини не торкається стінок камери змішування, що створює умови для циркуляції газу в зону зниженого тиску виходу рідини із сопла форсунки з боку відкритого торця камери змішування. Режим течії наочно ілюструє фото за тиску рідини на форсунці  $P = 1,47 \cdot 10^5$  Па (рис. 3). У типовому сульфітаторі ПСК геометрична характеристика ежектора становить 10,2, що відповідає описаному режиму роботи за відсутності ежекції.

Отже, дослідями встановлено причину відсутності ежекції під час роботи типового сульфітатора. У такому режимі опір вхідному газовому потоку в приймальну камеру перевищує опір входу газу з торця камери змішування, що призводить до відсутності ежекції та загазованості робочого місця.

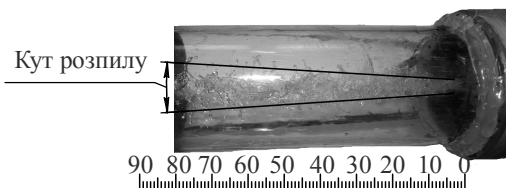


Рис. 3. Характерний режим течії рідини в ежекторі зі струминною форсункою

Подальші досліди ежектора зі струминною форсункою, яка має змінні діаметри сопел (рис. 4) і різні діаметри камери змішування, дали змогу встановити залежність об'ємного коефіцієнта ежекції від його головної геометричної характеристики, що змінювалась у межах від 2 до 11,25 (табл. 1).

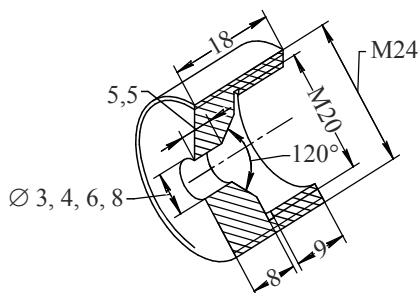


Рис. 4. Конструкція змінного сопла для форсунки

Таблиця 1. Геометрична характеристика  $d_{к.з.}/d_c$  ежекційного пристрою

Діаметр сопла, мм	Діаметр камери змішування, мм				
	8	15	19	27	45
3	2,67	5,00	6,33	9,00	—
4	2,00	3,75	4,75	6,75	11,25
6	—	2,50	3,17	4,50	7,50
8	—	—	2,38	3,38	5,63

Об'ємний коефіцієнт ежекції  $u$  (відношення витрати пасивного потоку до витрати активного) визначають за формулою:

$$u = Q_{\text{газ}} / Q_{\text{рід}}, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{газ}}$  – витрата газу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{рід}}$  – витрата рідини,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

На основі експериментальних даних побудовано графіки залежності коефіцієнта ежекції від тиску рідини за різної геометричної характеристики ежектора. Для прикладу наведемо графік залежності коефіцієнта ежекції від геометричної характеристики  $d_{кз}/d_c$  (рис. 5), за тисків рідини  $(0,735, 1,47, 1,96) \cdot 10^5$  Па.

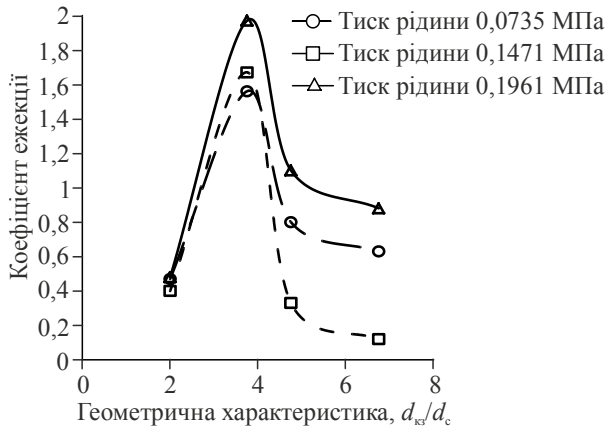


Рис. 5. Залежність об'ємного коефіцієнта ежекції від відношення  $d_{кз}/d_c$  для ежектора зі струминною форсункою

Згідно з графіком, зображеним на рис. 5, коефіцієнт ежекції за однакового тиску на форсунці, але з різною головною геометричною характеристикою ежектора набуває числових значень, що значно відрізняються, від максимальних значень за оптимальної геометричної характеристики ежектора, яка в усіх досліджах становить  $4,5 \dots 5,5$ .

Отже, встановлено, що ежекційний апарат типового сульфідатора, головна геометрична характеристика якого становить 10,2, працює за межами оптимуму, що не дає змоги отримати достатню кількість сульфитаційного газу для ефективного перебігу процесу.

Другим етапом дослідження роботи ежектора було встановлення залежності об'ємного коефіцієнта ежекції від основної геометричної характеристики ежектора за зміни типу розпилювача: струминної форсунки на відцентрово-струминну (рис. 6). Для цього використано корпус струминної форсунки, в якому розміщено вставку з чотирма нахиленими каналами та центральним отвором.

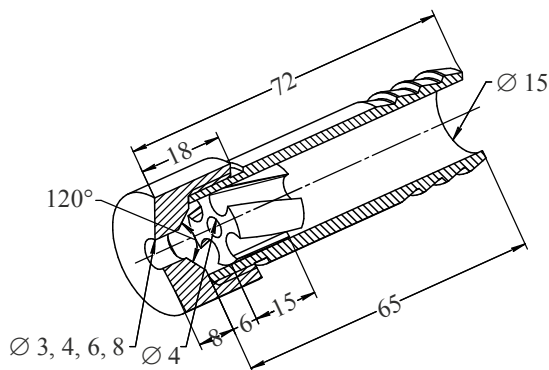


Рис. 6. Конструкція форсунки відцентрово-струминного типу з центральною вставкою

Заміна типу розпилювача зі струминного на відцентрово-струминний привела до зміни факела розпилення (рис. 7), який характеризується повністю заповненим факелом з кутом розпилення близько  $40^\circ$ . Факел торкається стінок камери змішування ежектора на незначній відстані від сопла, що гарантує утворення зони пониженого тиску в приймальній камері.

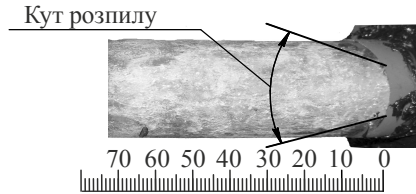


Рис. 7. Характерний режим течії рідини в ежекторі з відцентрово-струминною форсункою

На відміну від струминної форсунки, яка показала відсутність коефіцієнта ежекції в камері змішування діаметром  $d_{к.з.} = 45$  мм, заміна типу розпилювача на відцентрово-струминний дала можливість якісно змінити картину гідродинаміки течії в ежекторі, гарантовано отримати розрідження в приймальній камері змішування та досягти більш стабільної роботи і зменшення загазованості робочого місця за рахунок збільшення тяги. Наведемо залежність коефіцієнта ежекції від тиску рідини на відцентрово-струминній форсунці (рис. 8) з камерою змішування  $d_{к.з.} = 45$  мм та різними діаметрами сопел  $d_c = 4, 6, 8$  мм.



Рис. 8. Залежність коефіцієнта ежекції від тиску на відцентрово-струминній форсунці

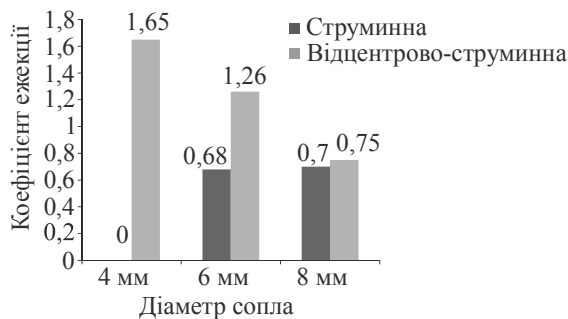


Рис. 9. Залежність коефіцієнта ежекції від діаметра сопла для різних типів форсунок при камері змішування  $d_{к.з.} = 15$  мм, тиск рідини  $0,735 \cdot 10^5$  Па

У ході дослідження встановлено, що при використанні форсунки відцентрово-струминного типу можна досягти більшого коефіцієнта ежекції за однакової витрати рідини порівняно зі струминною форсункою (рис. 9).

На рис. 10 наведено залежність коефіцієнта ежекції від геометричної характеристики ежектора при використанні як розпилювача відцентрово-струминної форсунки.



**Рис. 10.** Залежність об'ємного коефіцієнта ежекції від відношення  $d_{кз}/d_c$ : тиск рідини  $(0,735, 1,47 \text{ і } 1,96) \cdot 10^5$  Па

У ході дослідження ежекторів, у яких використано струминну та відцентрово-струминну форсунки, встановлено, що об'ємний коефіцієнт ежекції набуває максимального числового значення за головної геометричної характеристики  $4,5 \dots 5,5$ .

### **Висновки**

1. Проаналізовано роботу сульфитаторів, виявлено недоліки їх роботи та вказано основні напрями модернізації. Найпоширенішими є сульфитатори струминного типу.

2. Створено лабораторну установку для дослідження гідродинаміки ежекційного апарата.

3. Встановлено закономірності гідродинаміки течії рідини в ежекційному апараті, в якому як розпилювач використано струминну і відцентрово-струминну форсунки.

4. Дослідами встановлено, що оптимальна геометрична характеристика ежектора для всіх типів розпилювачів становить  $4,5 \dots 5,5$ . У типовому сульфитаторі з ежекційним апаратом, головна геометрична характеристика якого виходить за межі оптимуму і дорівнює  $10,2$ , не можна отримати максимальний коефіцієнт ежекції. Це пояснює причину нестабільної роботи сульфитатора та загазованості робочого місця.

5. Встановлено, що заміна розпилювача зі струминного на відцентрово-струминний дає змогу якісно змінити картину гідродинаміки течії в ежекторі, гарантовано забезпечує збільшення коефіцієнта ежекції за меншої витрати рідини порівняно зі струминною форсункою.

**Література**

1. *Штангеев В.О.* Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. В 2-х ч. Ч.2. — В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.; Под ред. В.О. Штангеева. — Киев : «Цукор України». 2004. — 307 с.
2. *Гребенюк С.М.* Технологическое оборудование сахарных заводов / С.М. Гребенюк. — Москва : Колос С, 2007. — 520 с.
3. *Молотин Ю.И.* Сульфитационная обработка соков, сиропов и экстрагента свеклосахарного производства. / Ю.И. Молотин, В.О. Городецкий // Журнал «Сахар». — 2013. — № 9. — С. 38.
4. *Вискребцов В.Б.* Утилизация сернистого ангидрида и расход серы / В.Б. Вискребцов // Журнал «Сахар». — 2003. — № 5. — С. 46—48.
5. *Вискребцов В.Б.* Чому станція сульфитації іноді працює незадовільно / В.Б. Вискребцов, В.В. Пономаренко // Журнал «Цукор України». — 2011. — № 8(68). — С. 18—20.
6. *Вискребцов В.Б.* З досвіду експлуатації струминних сульфитаторів / В.Б.Вискребцов, Є.В.Щепкін // Науково-практичний галузевий журнал «Цукор України». — 2002. — № 6(30). — С. 12—13.
7. *Лямаев Б.Ф.* Гидроструйные насосы и установки / Б.Ф. Лямаев. — Ленинград : Машиностроение. Ленинград. отдел., 1988. — 256 с.

## INTENSIVE TECHNOLOGIES ENERGY-, MASS TRANSFER DURING STERILIZATION OF FOOD PRODUCTS

Y. Stupak, K. Vasilkovskiy

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Intensification  
Rotatory motion  
Centrifugal force  
Planetary mechanism  
Chain-drive  
Kinematics  
Instantaneous axis of rotation*

**Article history:**

Received 16.11.2017  
Received in revised form  
04.12.2017  
Accepted 26.12.2017

**Corresponding author:**

K. Vasilkovskiy  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-12

---

**ABSTRACT**

Thermal sterilization is the most widespread and reliable method of canning of foods. Sterilization of consistency of products is related to their high temperature treatment in the conditions of conductive heat exchange. Time of heating and cooling of packing with consistency products is especially prolonged. The use of rotary sterilization considerably abbreviates duration of process and improves quality of products. In research the variants of structural decisions of the special rotary devices for realization of difficult rotatory motion are considered and the kinematics analysis of the offered mechanical systems is executed. A ratio between speed and geometrical parameters of mechanisms is determined.

## ІНТЕНСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГО- І МАСООБМІНУ ПРИ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Ю.О. Ступак, К.В. Васильківський

Національний університет харчових технологій

*Теплова стерилізація є найбільш розповсюдженим і надійним способом консервування харчових продуктів. Стерилізація консистентної продукції пов'язана з її високотемпературною обробкою в умовах кондуктивного теплообміну. Час нагрівання та охолодження упаковок з консистентною продукцією є особливо подовженим. Використання ротаційної стерилізації значно скорочує тривалість процесу і підвищує якість продукції. У дослідженні розглянуто варіанти конструктивних рішень спеціальних ротаційних пристроїв для реалізації складного обертального руху і виконано кінематичний аналіз запропонованих механічних систем. Визначено співвідношення між швидкісними і геометричними параметрами механізму.*

**Ключові слова:** інтенсифікація, обертальний рух, відцентрова сила, планетарний механізм, ланцюгова передача, кінематика, миттєва вісь обертання.

**Постановка проблеми.** Методи теплової обробки харчової продукції постійно удосконалюються. В основному зміни направлені на підвищення якості готової продукції, розширення асортименту тари за рахунок збільшення об'єму банок і підвищення економічної ефективності процесу обробки на основі проведення аналізу та виявлення шляхів інтенсифікації процесу стерилізації за умови зменшення енерговитрат і часу технологічного впливу.

Підвищення швидкості перехідних процесів нагрівання й охолодження консистентної продукції під час її стерилізації має вирішальне значення не тільки з точки зору продуктивності технологічного обладнання, а й з точки зору якісних показників продукції, пов'язаних з її перегріванням у локальних зонах. Співвідношення часу перебігу вказаних процесів має принципове значення. Для консистентної продукції єдиним і лімітуючим є процес передавання теплоти теплопровідністю. Останнє вимагає пошуку додаткових або нових рішень, направлених на інтенсифікацію теплообміну. Пов'язуючи інтенсивність теплообміну з гідродинамічним станом продукту в упаковці, розробники нової техніки стали на шлях використання потенціальних полів сил інерції для забезпечення перемішування вмісту банок, пляшок тощо.

Саме при ротаційній стерилізації під час обертання відбувається додаткове перемішування, вирівнювання температури і покращення умов теплопередачі. Ротаційна стерилізація знижує термічну інерцію харчових продуктів. Дослідження показують, що значення константи термічної інерції вдається зменшити в 6—7 разів, у результаті чого значно скорочується формула стерилізації.

**Мета дослідження:** аналіз конструктивних рішень спеціальних ротаційних пристроїв щодо інтенсифікації рівнів гідродинамічних дій, що дасть змогу підвищити швидкість теплообміну та скорочення часу перебігу перехідних процесів нагрівання й охолодження упаковок з консистентною продукцією.

**Викладення основних результатів дослідження.** Розглянемо деякі з випадків, що стосуються обертальних рухів і за рахунок яких створюються відцентрові сили. Нехай об'єкт маніпулювання виконано у вигляді вертикального циліндричного резервуара з можливістю обертання його навколо вертикальної осі з кутовою швидкістю  $\omega$  (рис. 1).

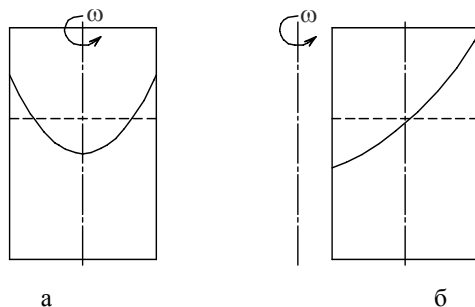


Рис. 1. Схема для визначення поверхні рідинного середовища

За рахунок сил тертя продукт також одержує обертальний рух з кутовою швидкістю, близькою до  $\omega$ . Результатом такого обертального руху є виник-

нення додаткового внутрішнього тиску за рахунок відцентрових сил. При цьому, за інших рівних умов, величини відцентрових сил визначаються відстанню від центра обертання. На рис. 1а упаковка обертається навколо своєї геометричної осі, а на рис. 1б навколо вертикальної осі, яка не збігається з її геометричною віссю. Очевидно, що за вказаних умов потенціальне поле сил інерції відносно продукту (і тари) є стабілізованим і не впливає на його гідродинамічний режим.

Відгуком систем по рис. 1а та 1б на створення полів відцентрових сил буде зміна поверхні рідинного середовища. Для випадку на рис. 1а оберемо поверхню параболоїда, а для випадку з асиметричним розташуванням осі обертання — частину поверхні параболоїда. Несиметричність останньої відносно упаковки вказує на можливість впливу на гідродинамічний стан об'єму продукту за рахунок надання одночасного з обертанням навколо асиметричної осі обертання навколо геометричної осі симетрії упаковки з кутовою швидкістю  $\omega_2$ . Наслідком такого суміщення двох обертальних рухів буде утворення біжучої хвилі на поверхні рідинної фази з додатковим радіальним і коловим переміщенням.

Реалізувати даний складний обертальний рух можливо за допомогою планетарного механізму або ланцюгової передачі. Проаналізуємо кінематику руху (встановленням зв'язку лише між швидкісними характеристиками) як у першому, так і в другому випадку.

І. Планетарний механізм — складові обертання направлені в один бік (рис. 2). При співнаправлених складових обертання відносним буде обертання навколо осі  $O_2$  з кутовою швидкістю  $\omega_2$ , а переносним — обертання відносно осі  $O_H$  з кутовою швидкістю  $\omega_H$ . Результуючим рухом співнаправлених обертань тіла навколо паралельних осей буде миттєве обертання тіла в тому ж напрямку з кутовою швидкістю  $\omega$  навколо миттєвої осі обертання. Для випадку планетарного механізму миттєва вісь обертання пройде через полюс зачеплення точку  $P$  паралельно осям  $O_2$  і  $O_H$ .

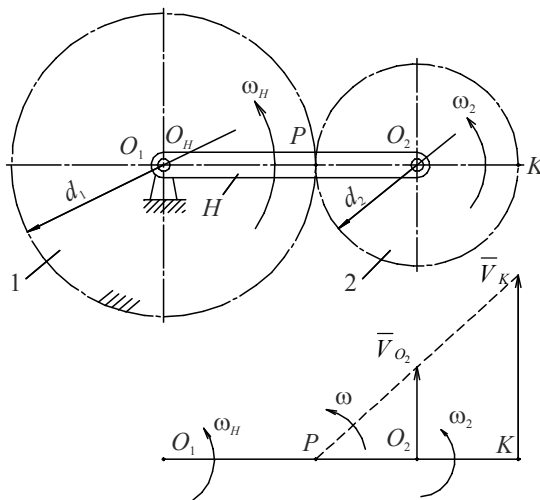


Рис. 2. Схема для випадку планетарного механізму



Залежність між кутовими швидкостями визначається за формулою Вілліса:

$$i_{2H} = 1 - i_{21}^H; \quad (1)$$

$$i_{2H} = 1 - (-1)^k \frac{z_1}{z_2} = 1 + \frac{z_1}{z_2}, \quad (2)$$

де  $k$  — число пар зубчастих коліс, що знаходяться у зовнішньому зачепленні;  
 $z_1, z_2$  — число зубців відповідних зубчастих коліс.

Звідки

$$\omega_2 = \omega_H \cdot \left( 1 + \frac{z_1}{z_2} \right), \quad (3)$$

тоді отримаємо  $\omega_2 > \omega_H$ .

Швидкості точок  $O_2$  і  $K$  визначаються залежностями:

$$V_{O_2} = \omega_H \cdot H; \quad (4)$$

$$V_K = 2\omega_H \cdot H. \quad (5)$$

Звідки

$$\omega = \frac{V_K}{d_2} = \omega_H \cdot \frac{2H}{d_2} = \omega_2, \quad (6)$$

де  $d_1, d_2$  — діаметри ділільних кіл відповідних зубчастих коліс;  $H = \frac{d_1 + d_2}{2}$  — довжина водила.

Положення миттєвої осі обертання відносно геометричної осі упаковки:

$$O_2P = d_2 = \frac{2H}{i_{2H}}. \quad (7)$$

Таким чином, колова швидкість точок тіла вздовж його діаметра від точки  $P$  до точки  $K$  змінюється лінійно:

$$0 \leq V_i \leq 2\omega_H \cdot H. \quad (8)$$

II. Ланцюгова передача — складові обертання направлені протилежно (рис. 3). Якщо відносний і переносний обертальні рухи навколо паралельних осей протилежні за напрямком і різні за величиною, то швидкості точок  $O_2$  і  $C$  направлені в одному напрямку. Миттєва вісь обертання  $P$  у цьому випадку знаходиться не між осями  $O_H$  і  $O_2$ , а розташована зовні з боку осі складового обертання з більшою кутовою швидкістю.

Залежність між кутовими швидкостями:

$$i_{2H} = \frac{\omega_2}{\omega_H} = \frac{d_1}{d_2}; \quad (9)$$

$$\omega_2 = \omega_H \cdot \frac{d_1}{d_2}, \quad (10)$$

тоді отримаємо  $\omega_2 > \omega_H$ , якщо  $d_1 > d_2$ , де  $d_1, d_2$  — ділільні діаметри зірочок.

Враховуючи, що

$$\omega = \frac{V_{O_2}}{O_2P} = \frac{V_C}{CP} = \frac{V_{O_2} - V_C}{O_2P - CP}, \quad (11)$$

та значення швидкості

$$V_{O_2} = \omega_H \cdot H, \quad (12)$$

$$\overline{V_C} = \overline{V_{CO_1}} - \overline{V_{CO_2}}, \quad (13)$$

$$V_C = \omega_H \left( H + \frac{d_2}{2} \right) - \omega_2 \frac{d_2}{2} = \omega_H \left( H + \frac{d_2}{2} - \frac{d_1}{2} \right), \quad (14)$$

одержимо вирази для обчислення абсолютної кутової швидкості тіла та положення миттєвої осі обертання:

$$\omega = \omega_2 - \omega_H, \quad (15)$$

$$\omega = \omega_H \left( \frac{d_1}{d_2} - 1 \right), \quad (16)$$

$$O_2P = \frac{V_{O_2}}{\omega} = \frac{\omega_H H}{\omega_2 - \omega_H} = \frac{H d_2}{d_1 - d_2}, \quad (17)$$

$$O_2P = \frac{H}{i_{2H} - 1}. \quad (18)$$

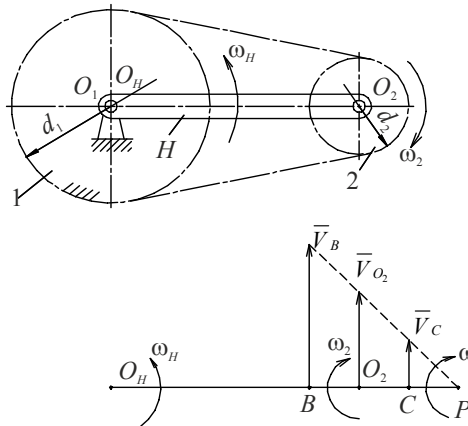


Рис. 3. Схема для випадку ланцюгового механізму

Отже, результуючий рух буде обертальним з абсолютною кутовою швидкістю, яка дорівнює різниці складових кутових швидкостей, у напрямку більшої кутової швидкості.

Таким чином, колова швидкість точок тіла вздовж його діаметра від точки *C* до точки *B* змінюється лінійно:

$$\omega_H \left( H + \frac{d_2}{2} - \frac{d_1}{2} \right) \leq V_i \leq \omega_H \left( H - \frac{d_2}{2} + \frac{d_1}{2} \right). \quad (19)$$

Порівнюючи вирази для обчислення абсолютної  $\omega$  та відносної  $\omega_2$  кутової швидкості тіла за рівних значень довжини водила  $H$  та його кутової швидкості  $\omega_H$  в обох випадках, отримуємо:

- приріст колової швидкості точок тіла вздовж його діаметра:

$$\Delta V_{i(I)} = 2H\omega_H, \quad (20)$$

$$\Delta V_{i(II)} = \omega_H(d_1 - d_2); \quad (21)$$

- співвідношення відносних кутових швидкостей:

$$\frac{\omega_{2(I)}}{\omega_{2(II)}} = \frac{2H}{d_1} > 1; \quad (22)$$

- співвідношення абсолютних кутових швидкостей:

$$\frac{\omega_{(I)}}{\omega_{(II)}} = \frac{2H}{(d_1 - d_2)} > 1; \quad (23)$$

- співвідношення полюсних відстаней:

$$\frac{O_2P_{(I)}}{O_2P_{(II)}} = \frac{2H(i_{2H} - 1)}{Hi_{2H}} = 2 - \frac{2}{i_{2H}} > 1. \quad (24)$$

### **Висновки**

Отже, на основі проведеного аналізу кінематики запропонованих механізмів можна стверджувати, що в першому випадку (планетарний механізм) за рівних початкових умов кутові швидкості, полюсна відстань від осі упаковки є більшими і тому кривизна поверхні рідинної фази більш виражена, тобто отримаємо вищий ступінь перемішування продукту в тарі.

### **Література**

1. Дацишин О.В. Механізація переробки і зберігання плодоовочевої продукції: Навч. посібник / О.В. Дацишин, О.В. Гвоздев, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. Рогач // За ред. О.В. Дацишина — Київ : Мета, 2003. — 288 с.: іл.
2. Іскрицький В.М. Теоретична механіка. Статика і кінематика: Навчальний посібник / В.М. Іскрицький, С.В. Подлесний, О.Г. Водолазська, Ю.О. Єрфорт. — Краматорськ : ДДМА, 2007. — 204 с.
3. Соколенко А.І. Фізико-хімічні методи обробки сировини та продуктів харчування / А.І. Соколенко, В.Б. Костін, К.В. Васильківський, О.Ю. Шевченко, В.Й. Лензіон, В.Г. Резнік // За ред. А.І. Соколенка. — Київ : АртЕк, 2000. — 306 с.
4. Соколенко А.І. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових і мікробіологічних технологіях / А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, В.А. Піддубний. — Київ : ПП «Люксар», 2007. — 443 с.
5. Соколенко А.І. Інтенсифікація теплообміну при ротаційній стерилізації / А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, Ю.О. Ступак, О.М. Семенов // Харчова промисловість. — 2008. — № 7. — С. 64—66.
6. Флауменбаум Б.Л. Основи консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум, С.С. Танчев, М.А. Гришин. — Москва : Агропромиздат, 1986. — 494 с.
7. Цуркан О.В. Шляхи інтенсифікації процесу теплової стерилізації консервів на основі його аналізу / О.В. Цуркан, А.Ю. Гурич, Б.М. Пендюк, В.О. Кузь // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету № 1(84) 2014р. — С. 170—176.

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CHARACTERISTICS OF THE DAMP FEED ON THE PARAMETERS OF THE TRANSFERABLE FUNCTION OF THE CONTROL OBJECT

V. Miroshnik

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

N. Kiktev

*National University of Food Technology*

---

**Key words:**

*Mathematical model  
Duct feed line  
Transfer function  
Temperature mode*

**Article history:**

Received 10.11.2017  
Received in revised form  
29.11.2017  
Accepted 27.12.2017

**Corresponding author:**

N. Kiktev

**E-mail:**

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

---

**ABSTRACT**

The mathematical and simulation models of the control object, the wet feed pipeline, and simulation model in the Simulink MATLAB medium have been developed. The effect of the type of feed and the content of moisture in it on the main characteristics of the object in terms of management has been studied. The research of the mathematical model of the pipeline for feeding the wet feed mixture to animals was performed to determine its effect on the dynamic characteristics of the object of control of moisture content in the mixture. The simulation model for calculating the technological characteristics of the feed uses the Korm subroutine, which is created using the Create subsystem editing function.

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-13

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВОЛОЖЕНОГО КОРМУ НА ПАРАМЕТРИ ПЕРЕДАТНОЇ ФУНКЦІЇ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

В.О. Мірошник

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

М.О. Кіктєв

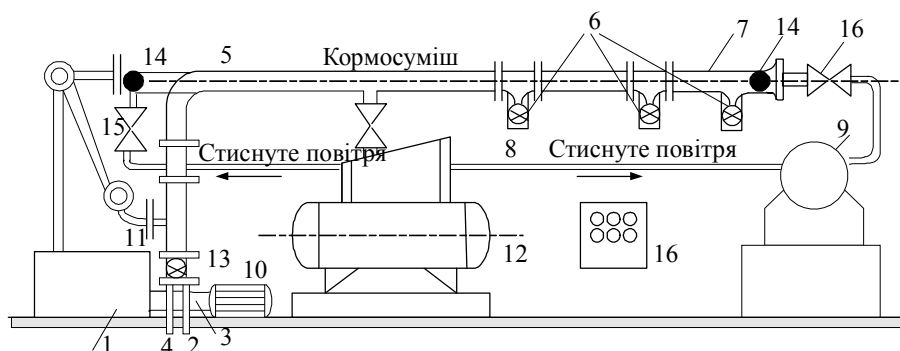
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розроблено математичну та імітаційну моделі об'єкта керування, трубопроводу зволоженого корму, а також імітаційну модель у середовищі Simulink MATLAB. Досліджено вплив виду корму та вмісту вологи в ньому на основні характеристики об'єкта з точки зору керування. Виконано дослідження математичної моделі трубопроводу для подачі вологої кормової суміші тваринам для визначення впливу на динамічні характеристики об'єкта керування вмісту вологи в суміші. На імітаційній моделі для розрахунку технологічних характеристик корму використовується підпрограма Korm, створена за допомогою функції редагування Create subsystem.*

**Ключові слова:** математична модель, трубопровід зволоженого корму, передатна функція, температурний режим.

**Постановка проблеми.** На рис. 1 показана поточна лінія транспортування і розподілу вологих кормових сумішей [1], в яку входить: змішувач кормів 1, перехідна камера 2, одnogвинтовий насос 3, запірний шибер 4, поліетиленовий кормопровід 5, 7, 13; пробкові крани 6, трубопровід стислого повітря 8, роздавач кормів 9, електродвигун насоса 10, манометр 11, компресор 12, кульовий розділювач 14, соленоїдний вентиль 15 і центральний пульт керування 16. З двох боків знаходяться камери для уловлювання кульового розділювача, система управління має звукову і світлову сигналізацію, дистанційне керування насосами і вентилями подачі стислого повітря. Очищення кормопроводу виконується за допомогою стислого повітря кульовим розділювачом.

Продуктивність такої лінії може бути від 18 м<sup>3</sup>/год, для відгодівлі 12 тис. поросят на рік при довжині лінії транспортування корму до 150 метрів, і діаметра труби 90—100 мм, при вологості кормової суміші від 65, 70% в залежності від складу суміші. Питомі енергетичні витрати складають на транспортування 0,28 кВт год/м<sup>3</sup>, а на транспортування і очищення 0,95 кВт год/м<sup>3</sup>.



**Рис. 1. Технологічна схема поточної лінії транспортування і розподілу вологих кормових сумішей**

Залежно від складу кормової суміші змінюються фізичні властивості корму, які впливають на характеристики транспортування. За технологічним регламентом вологість корму не повинна перевищувати 75%. Складові і властивості деяких вологих кормових сумішей показано в табл. 1

**Таблиця 1. Властивості вологих кормових сумішей**

№ раціону	Компоненти сумішей по поживності, %				Густина, кг/м <sup>3</sup>	Початкова вологість, %
	Концентрації	Картопля	Мука з трави	Зелена маса		
1	70,0	30,0	—	—	1060	67,3
2	65,0	28,0	7	—	1040	65,9
3	100,0	—	—	—	1084	62,2
4	78,4	—	—	21,6	1073	68,8
5	69,2	18,0	—	12,8	1067	70,1

На густину корму незначно і на пластичну в'язкість значною мірою впливає вологість суміші. Залежність пластичної в'язкості від вологості і склад кормової суміші для сумішей, вказаних у табл. 1, відображено на рис. 2.

Для розробки системи автоматизації необхідно вивчити на моделі динамічні характеристики об'єкта, на які впливають якісні і кількісні характеристики корму.

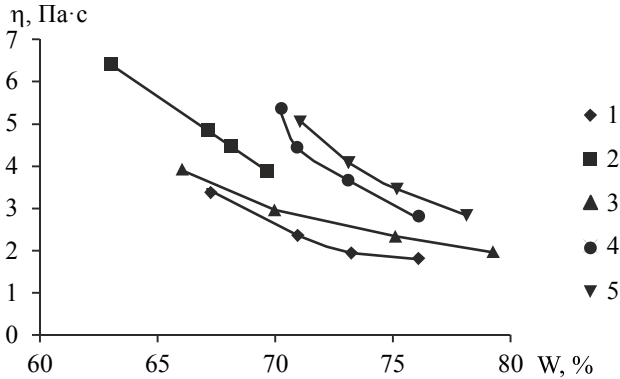


Рис. 2. Залежність пластичної в'язкості кормової суміші від вмісту води

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні в науковому середовищі багато уваги приділяється впровадженню сучасних інформаційних та автоматизованих систем у сільськогосподарській галузі, зокрема в кормовиробництві. В статті [3] запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої підсистеми обліку кормів агропромислового об'єкта — свиноферми. В [4] розглядається організація зв'язку системи керування технологічним процесом виготовлення кормів з системою верхнього рівня — АСУ виробництвом кормів.

**Мета дослідження:** розробити імітаційну модель трубопроводу зволоженого корму в середовищі Simulink MATLAB, яка дасть змогу дослідити вплив виду корму та вмісту води в ньому на основні характеристики об'єкта з точки зору керування, а також алгоритми керування витратними характеристиками трубопроводу для різних видів корму.

**Викладення основних результатів дослідження.** Розробку математичної моделі переміщення вологих продуктів по трубопроводу починаємо з опису динаміки переміщення рідких продуктів у трубопроводі, яка описується матеріальним балансовим рівнянням:

$$S_{\text{тр}} \cdot \frac{dP}{d\tau} = G_{\text{пр1}} - G_{\text{пр2}}$$

або

$$S_{\text{тр}} \cdot \frac{dP}{d\tau} = G_{\text{пр1}} - \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot S_p \cdot \rho}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} P, \quad (1)$$

де  $P$  — тиск на виході трубопроводу, Па;  $S_{\text{тр}}$ ,  $d_{\text{тр}}$ ,  $l_{\text{тр}}$  — поперечний перетин, діаметр і довжина кормової труби  $\text{м}^2$ , м, м;  $S_p$  — площа поперечного перетину

регулюючого органу (шибера),  $m^2$ ;  $G_{np1}$  — продуктивність насоса,  $m^3/c$ ;  $\rho$  і  $\eta$  — густина і пластична в'язкість корму,  $kg/m^3$ ;  $Pa \cdot c$ ;  $g = 9,81$  — прискорення земного тяжіння,  $m/c^2$ .

Вхідними параметрами (неконтрольованими, залежними збуреннями) є (рис. 3):  $S_{тр}$ ,  $d_{тр}$ ,  $L_{тр}$  — поперечний перетин, діаметр і довжина кормової труби,  $\rho$  і  $\eta$  — густина і пластична в'язкість корму; вихідний, керований параметр:  $P$  — тиск на виході трубопроводу; Збурення (контрольоване):  $S_p$  — площа поперечного перетину регулюючого органу (шибера); керуючий параметр:  $G_{np1}$  — продуктивність насоса.

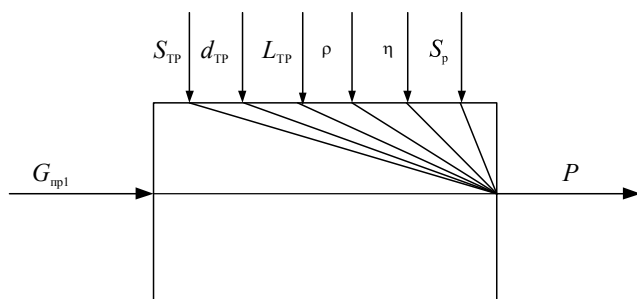
Будемо вважати вхідні параметри постійними (при дослідженні об'єкта на моделі вони можуть змінюватися, наприклад,  $\rho$  і  $\eta$  корму залежно від вмісту вологи  $W$ ).

Решта параметрів вважаємо змінними, це:  $P$ ,  $G_{np1}$  і  $S_p$ . Їх ми представимо з урахуванням відхилень і номінальних (початкових) значень  $P_0$ ,  $G_{np0}$  і  $S_{p0}$ :

$$P = P_0 + \Delta P, \quad S_p = S_{p0} + \Delta S_p, \quad G_{np1} = G_{np0} + \Delta G_{np}. \quad (2)$$

Після підстановки в (1) і спрощення, відкидаючи незначні члени рівняння, де добутками є відхилення, отримуємо:

$$S_{тр} \cdot \frac{d\Delta P}{d\tau} = (G_{np0} + \Delta G_{np}) - \frac{g \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho}{32 \cdot l_{тр} \cdot \eta} \cdot (S_{p0} \cdot P_0 + S_{p0} \cdot \Delta P + \Delta S_p \cdot P_0). \quad (3)$$



**Рис. 3.** Інформаційна схема об'єкта керування трубопроводу зволоженого корму

Оскільки у статичному режимі  $G_{np0} = \frac{g \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho}{32 \cdot l_{тр} \cdot \eta} \cdot S_{p0} \cdot P_0$ , то рівняння (3)

після підстановки матиме вигляд:

$$S_{тр} \cdot \frac{d\Delta P}{d\tau} + \frac{g \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho \cdot S_{p0}}{32 \cdot l_{тр} \cdot \eta} \cdot \Delta P = \Delta G_{np} - \frac{g \cdot d_{тр}^2 \cdot \rho}{32 \cdot l_{тр} \cdot \eta} \cdot \Delta S_p \cdot P_0. \quad (4)$$

Приведемо рівняння (4) до безрозмірної форми. Для цього кожен змінну розділимо на її номінальне значення і введемо нові позначення:

$$y = \frac{\Delta P}{P_0}; \quad x = \frac{\Delta G_{np}}{G_{np0}}; \quad z = \frac{\Delta S_p}{S_{p0}};$$

що дасть

$$S_{\text{тр}} \cdot P_0 \cdot \frac{dy}{d\tau} + \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot y = G_{\text{пр0}} \cdot x - \frac{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0}{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta} \cdot z. \quad (5)$$

Розділимо рівняння (5) на коефіцієнт біля у і отримаємо рівняння динаміки об'єкта керування:

$$\frac{S_{\text{тр}} \cdot 32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0} \cdot \frac{dy}{d\tau} + y = \frac{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta \cdot G_{\text{пр0}}}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0} \cdot x - z. \quad (6)$$

Таким чином, постійну часу об'єкта можна порахувати за формулою:

$$T = \frac{S_{\text{тр}} \cdot 32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0} = \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot 32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{4 \cdot g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0} = \frac{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta}{g \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}}}. \quad (7)$$

Час запізнення об'єкта керування, який визначається часом по переміщенню корму від регулюючого вентиля до годівниць, визначаємо:

$$\tau_z = \frac{V_{\text{тр}}}{G_{\text{пр1}}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot l_{\text{тр}}}{4 \cdot G_{\text{пр1}}}. \quad (8)$$

Коефіцієнт передачі об'єкта каналом керування дорівнює:

$$K_x = \frac{32 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \eta \cdot G_{\text{пр0}}}{g \cdot d_{\text{тр}}^2 \cdot \rho \cdot S_{\text{р0}} \cdot P_0}, \text{ а каналом збурення } K_z = -1.$$

Виконаємо дослідження математичної моделі трубопроводу для подачі вологої кормової суміші тваринам для визначення впливу на динамічні характеристики об'єкта керування вмісту вологи в суміші. Параметрами дослідження є характеристики передатної функції об'єкта: постійна часу і коефіцієнт передачі об'єкта і напір на виході трубопроводу.

Для розрахунків беремо корм з раціону № 5 (табл. 2) густиною  $\rho = 1067 \text{ кг/м}^3$  при початковій вологості  $W_0 = 70,1\%$ . Залежність пластичної в'язкості  $\eta$ , (Па·с) від вмісту вологи показана на рис. 2. Характеристики трубопроводу такі: діаметр кормової труби  $d_{\text{тр}} = 90 \text{ мм}$ ; довжина кормової труби  $l_{\text{тр}} = 105 \text{ м}$ . Витрати насоса на перекачування корму складають  $G_{\text{пр1}} = 20, \text{ м}^3/\text{год}$ . Прискорення земного тяжіння  $g = 9,807 \text{ м/с}^2$ . Розрахунки виконаємо з використанням пакетів MathCad і Simulink MATLAB.

*Таблиця 2. Вихідні дані для розрахунку*

Параметр	Значення
Діаметр труби, м	$D: = 0,09$
Довжина труби, м	$L: = 105$
Початкова вологість суміші, %	$W_0: = 70,1$
Густина кормової суміші, $\text{кг/м}^3$	$\rho C: = 1\ 067$
Прискорення земного тяжіння, $\text{м/с}^2$	$g: = 9,807$
Витрати насоса, $\text{м}^3/\text{с}$	$F_n: = 20/3600 = 0,00556$
Тиск на вході трубопроводу, Па	$P_0: = 100\ 000$



Отримаємо рівняння для визначення густини корму залежно від вмісту вологи. Визначимо густину сухої частини корму, приймаючи, що густина води 998 кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{CP} := \frac{\rho C \cdot 100 - W_0 \cdot 998}{100 - W_0} \rho_{CP} = 1228,769,$$

тоді

$$f\rho(W) := \frac{\rho_{CP} \cdot (100 - W) + 998 \cdot W}{100}. \quad (9)$$

Динамічну в'язкість суміші знімаємо з графіка на рис. 2 у вигляді масиву даних, кг/(м\*с) або Па\*с, разом з даними про вміст вологи:

$$i := 0 \dots 3;$$

$$\mu C := (5,2 \ 4,15 \ 3,35 \ 2,75)^T; \quad W := (70 \ 72 \ 74,2 \ 76,2)^T.$$

Використовуючи метод найменших квадратів, знайдемо рівняння залежності динамічної в'язкості кормової суміші від вмісту вологи в ній:

$$A := \begin{bmatrix} 4 & \sum w & \sum w^2 \\ \sum w & \sum w^2 & \sum w^3 \\ \sum w^2 & \sum w^3 & \sum w^4 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} \sum \mu c \\ \sum_i \mu c i \\ \sum_i \mu C_i \cdot (W_i^2) \end{bmatrix}$$

$$A := A^{-1} \cdot B \quad a^T := (175,479 \ -4,308 \ 0,027)$$

$$f\mu(W) := a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot W^2. \quad (10)$$

Розрахуємо запізнення по об'єкту керування трубопроводу корму, с:

$$\tau z := \frac{L}{Fn} \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \tau z = 120,237.$$

Порахуємо вплив вмісту вологи в кормах на постійну часу та коефіцієнт передачі об'єкта керування, с. Попередньо порахуємо площу поперечного перетину регулюючого органу при 0,9 м<sup>2</sup>. Вміст вологи змінюємо від початкового вмісту вологи в суміші до 75% через 0,5%:

$$Sp0 := 1,1 \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) Sp = 0,007.$$

Таким чином, волога змінюється від початкової:

$$J := 0,8 \quad W := (71 \ 71,5 \ 72 \ 72,5 \ 73 \ 73,5 \ 74 \ 74,5 \ 75)^T.$$

Постійна часу об'єкта матиме значення, с:

$$T_j := \frac{8 \cdot \pi \cdot f\mu(W_j) \cdot L}{g \cdot f\rho(W_j) \cdot Sp0}$$

## ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

$$T^T := (168,198 \ 159,511 \ 151,289 \ 143,535 \ 136,25 \\ 129,435 \ 123,092 \ 117,223 \ 111,828).$$

Коефіцієнт передачі об'єкта по каналу керування матиме значення:

$$K_j := \frac{32 \cdot L \cdot f_{\mu}(W_j) \cdot F_n}{g \cdot D^2 \cdot f_p(W_j) \cdot Sp0 \cdot P0};$$

$$T^T := (0,00147 \ 0,00139 \ 0,00132 \ 0,00125 \\ 0,00119 \ 0,00113 \ 0,00107 \ 0,00102 \ 0,00098).$$

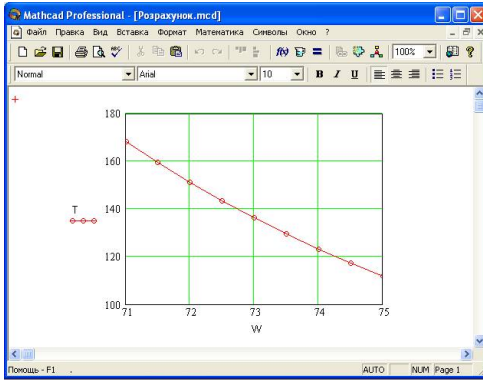


Рис. 4. Залежність постійної часу об'єкта керування від вологості корму

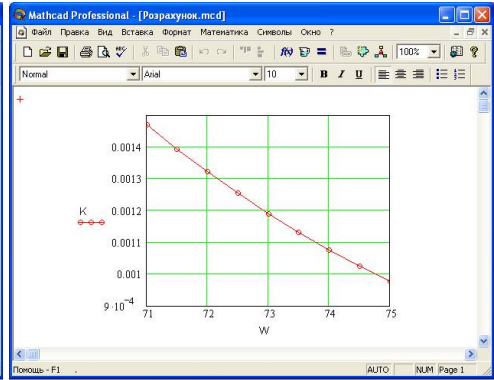


Рис. 5. Залежність коефіцієнта передачі ОК від вологості корму

Таким чином, передатна функція об'єкта керування, трубопроводу корму при вмісті води в корму  $W = 71\%$  матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{0.00147}{168.2 \cdot p + 1} \cdot e^{-120.24 p}.$$

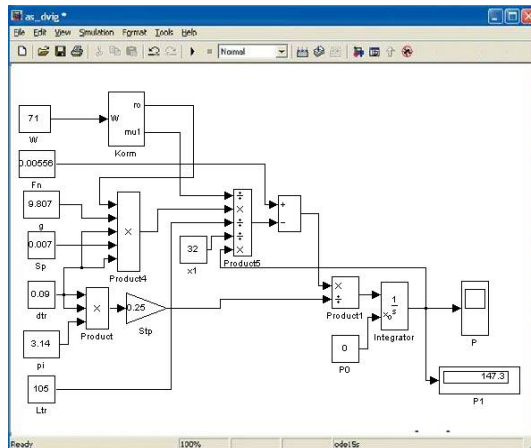
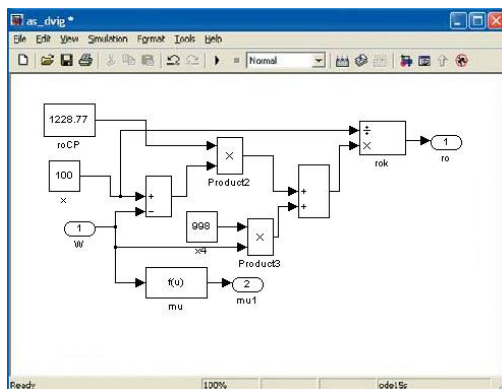


Рис. 6. Імітаційна модель об'єкта керування, трубопроводу корму

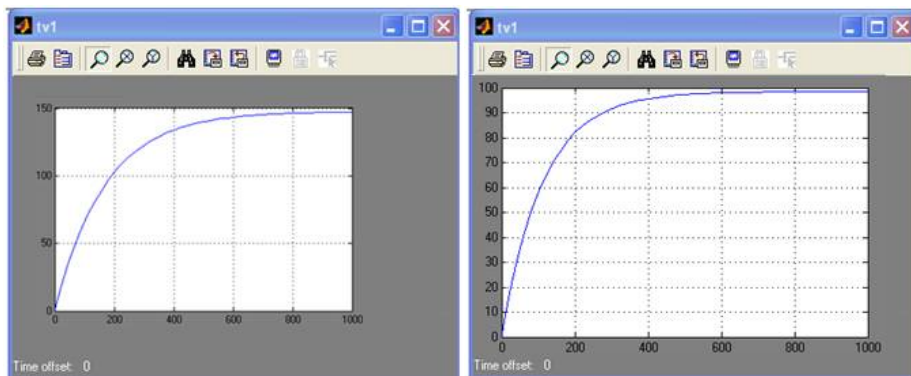
Для дослідження впливу вмісту вологи в кормі на характеристики об'єкта створимо за формулою (1) і формулами для розрахунку густини і динамічної в'язкості (9) і (10) імітаційну модель об'єкта (рис. 6).

На імітаційній моделі для розрахунку технологічних характеристик корму використовується підпрограма Korm, створена за допомогою функції редагування Create subsystem з меню Edit (рис. 7).



**Рис. 7.** Підпрограма Korm імітаційної моделі об'єкта керування

Підпрограма дає змогу вивчати перехідну характеристику трубопроводу за значенням тиску на виході трубопроводу при різних значеннях: 71 і 75% вмісту вологи в кормі  $W$  (рис. 8).



**Рис. 8.** Перехідна характеристика трубопроводу за значенням тиску на виході трубопроводу при значеннях  $W = 71$  і  $W = 75\%$

### **Висновки**

Створено структурну схему трубопроводу рідкого корму і на основі дослідження розроблено математичну та імітаційну моделі об'єкта керування, яка базується на системі диференціальних рівнянь, що описують динаміку процесу транспортування корму. Зазначена модель дасть змогу розробити алгоритми керування витратними характеристиками трубопроводу для різних видів корму.

**Література**

1. *Короткевич В.А.* Комплексная механизация в свиноводстве. — Минск : Ураджай, 1989. — 136 с.
2. Інтенсифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. / В. Лисенко, С. Чернишенко, В. Решетюк, В. Мірошник, Н. Засць, І. Цигульов. — Київ : Аграр-МедіаГруп, 2016. — 476 с.
3. *Кіктєв М.О.* Алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої підсистеми обліку кормів агропромислового об'єкта / М.О. Кіктєв, І.І. Веклинець // Східно-європейський журнал передових технологій. — Харків : технологічний центр, 2013. — № 3/10(63). — С. 15—21.
4. *Кіктєв Н.А.* Информационные технологии в решении задач управления производством комбикормов // Инновации в сельском хозяйстве. Электронный журнал ВНИИЭСХ, Москва, 2015. — № 3(13). — С. 45—52.
5. *Батоврин В.К.* LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий. Учебное пособие для вузов / В.К. Батоврин, А.С. Бессонов, В.В. Мошкин, В.В. Папуловский. — Москва : ДМК Пресс, 2005. — 206 с.

## IMPROVEMENT OF HIGH-VOLTAGE GLASS INSULATORS

V. Brzhezytskyi, N. Laposha, I. Maslyuchenko, V. Khominich

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute"

---

**Key words:**

*High-voltage suspension  
insulator  
Cement shell  
Electric field intensity  
Partial discharge*

**Article history:**

Received 15.11.2017  
Received in revised form  
27.11.2017  
Accepted 20.12.2017

**Corresponding author:**

I. Maslyuchenko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The design features of high-voltage glass disk suspension insulators are considered in the paper. The electric field of the insulator was studied using its appropriate modeling in the Comsol Multiphysics simulation software. It was found the dependence of the maximal values of voltage applied to the insulator, under which the breakdown of the inclusion (pores) in the cement shell occurs, on the diameter of the pore. An improvement of the design of the insulator is proposed, the implementation of which consists of increasing the radius of curvature of the conical part of the rod. It is shown that with a change of the radius of curvature of the conical part of the insulator core from 0.5 to 3.5 mm, the maximal electric field intensity reduces and the threshold value of the partial discharge voltage in the cement shell increases, which will decrease the level of radio interference of the insulators. The results can be used to create new designs for high-voltage disc suspension insulators with improved radio interference performance.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-14

---

## УДОСКОНАЛЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛІНІЙНИХ СКЛЯНИХ ІЗОЛЯТОРІВ

В.О. Бржезицький, М.Ю. Лапоша, І.М. Маслюченко, В.І. Хомініч

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті розглянуто конструктивні особливості високовольтних підвісних лінійних скляних тарілчастих ізоляторів. Проведено дослідження електричного поля ізолятора за допомогою його моделювання в програмному пакеті Comsol Multiphysics. Виявлена залежність граничних значень напруг на ізоляторі, при яких відбувається пробій включення (пори) у цементно-піщаній зв'язці, від діаметра пори. Запропоновано удосконалення конструкції ізолятора, виконання якого полягає у збільшенні радіуса заокруглення конічної частини стрижня. Показано, що при зміні радіуса заокруглення конічної частини стрижня ізолятора від 0,5 до 3,5 мм відбувається зменшення максимальної напруженості електричного поля та підвищення порогового значення напруги виникнення часткових розрядів у цементно-піщаній зв'язці, що забезпечить

зниження рівня радіозавад ізоляторів. Результати можуть бути використані для створення нових конструкцій високовольтних лінійних тарілчастих ізоляторів з покращеними характеристиками по рівню радіозавад.

**Ключові слова:** високовольтний лінійний тарілчастий ізолятор, цементно-піщана зв'язка, напруженість електричного поля, частковий розряд.

**Постановка проблеми.** Безперебійна робота ліній електропередач залежить від надійності у часі лінійної ізоляції, яка у більшості випадків застосовується у вигляді гірлянди зі скляних або фарфорових ізоляторів. Основною перевагою даних ізоляторів є те, що при пошкодженні діелектрика зберігається механічна міцність їх конструкції, тому вони найбільш масово експлуатуються в повітряних мережах високої напруги. Незважаючи на те, що в останні роки відзначається широке використання полімерних ізоляторів у будівництві повітряних мереж, все ж на багатьох високовольтних лініях і підстанціях ізолюючими елементами гірлянд залишаються скляні (фарфорові) ізолятори. У зв'язку з цим конкуренція між компаніями-виготовлювачами зберігається, що змушує шукати шляхи зниження питомих витрат і підвищення технічних характеристик ізоляторів [1].

Лінійний підвісний ізолятор являє собою систему, що складається з чавунної шапки, сталевого стрижня, ізоляційної деталі та цементно-піщаної зв'язки (ЦПЗ). В процесі експлуатації ізолятор піддається одночасному впливу електричних і механічних навантажень при зміні оточуючих зовнішніх умов. Щоб ізолятор був надійним, протягом багатьох років повинні були детально опрацьовані методи конструювання, фізико-механічні та електрофізичні характеристики високовольтних ізоляторів, у тому числі за допомогою розрахунку картини дії електричного поля [2].

У високовольтних лінійних тарілчастих ізоляторах ізоляційна деталь і ЦПЗ знаходяться під основним електричним навантаженням. Фізичний стан ЦПЗ характеризується певним вмістом повітря (пористістю), що впливає на електричну провідність зв'язки, яка, у свою чергу, впливає на внутрішню електричну міцність ізолятора, роблячи зв'язку вразливою до впливу сильного електричного поля [3].

При застосуванні до ізолятора механічного навантаження, тобто розтягуючого зусилля, в його силовому вузлі відбувається розподіл механічних напружень, який залежить від конфігурації та фізико-механічних властивостей складових елементів високовольтного ізолятора [4].

У зв'язку з підвищенням вимог до допустимого рівня радіозавад ізоляторів [5] виникає необхідність подальших досліджень електричних і механічних характеристик ізоляторів, вдосконалення їх конструкцій, розвитку існуючих та розробки нових методологічних основ їх розрахунку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом значного часу питання підвищення технічних характеристик високовольтних тарілчастих ізоляторів, їх надійності в процесі експлуатації приділяється значна увага.

Так, у [6] наведено результати розрахунків напруженості електричного поля в об'ємі скляного ізолятора шляхом моделювання поля за допомогою

методу кінцевих елементів, який реалізовано в пакетах Maxwell та CST EM Studio. Проведене моделювання [6] показує, що небезпечні напруженості поля виникають на поверхнях ЦПЗ як стрижня, так і шапки в місцях контакту з повітрям. Такі значення полів можуть призводити до появи поверхневих розрядів на його внутрішній і зовнішній поверхнях, що в результаті може ініціювати перекриття всього ізолятора.

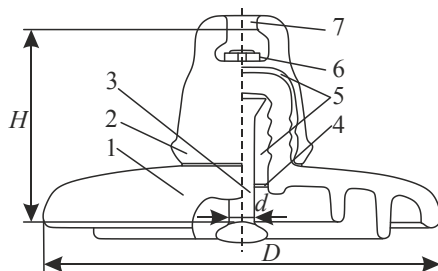
Авторами експериментальних і теоретичних досліджень зразків ізоляторів типу ПС120Б, які знаходились в експлуатації на повітряних лініях [7], доведено, що при напрузі 30 кВ на їх внутрішній поверхні виникають поверхневі розряди, які можуть ініціювати перекриття всієї гірлянди ізоляторів. Результати розрахунку напруженості електричного поля в об'ємі ізолятора за [7] показали, що максимального значення напруженість поля досягає на поверхні стрижня, а також ЦПЗ, що може призводити до появи високочастотних коливань і відповідних перенапруг на ізоляції повітряних ліній.

У [8] представлено спосіб розрахунку електричного поля тривимірної моделі високовольтних ізоляторів за допомогою програмного забезпечення на основі методу кінцевих елементів. Порівняння результатів розрахунків та експериментальних даних показало, що метод моделювання [8] корисний для розрахунку електричного поля високовольтних ізоляторів при проектуванні високовольтної лінії електропередачі.

Аналіз досліджень [6—8] показав, що в цих працях не приділено достатньої уваги питанню підвищення технічних характеристик високовольтних ізоляторів, хоча базові основи таких досліджень викладені в [9; 10]. У зв'язку з цим запропоноване дослідження електричних і механічних характеристик високовольтних лінійних скляних ізоляторів є актуальним.

**Метою статті** є дослідження можливостей удосконалення конструкції і покращення електричних характеристик високовольтного лінійного тарілчастого ізолятора.

**Викладення основних результатів дослідження.** Конструкція тарілчастого ізолятора представлена на рис. 1 [11]. На головці скляної (або фарфорової) ізоляційної деталі ізолятора за допомогою ЦПЗ кріпиться шапка з високоміцного чавуну. Стрижень, який має потовщення (з одного боку — конічне, з іншого — у вигляді еліпсоїда обертання), кріпиться за допомогою ЦПЗ своєю конічною частиною у внутрішній порожнині головки ізолятора.



**Рис. 1 Конструкція підвісного тарілчастого ізолятора:**

- 1 — ізоляційна деталь ізолятора; 2 — шапка ізолятора; 3 — стрижень ізолятора;  
4 — бітумна промазка; 5 — цементно-піщана зв'язка; 6 — пружинний замок; 7 — паз

Внутрішня частина головки ізолятора і частина стрижня, яка стикається зі зв'язкою, покриваються тонким, близько 0,1 мм, шаром компенсуючої бітумної промазки. Для запобігання корозії всі металеві частини оцинковуються [12].

У подальшому, як приклад, будемо розглядати скляний тарілчастий ізолятор типу ПС120Б, призначений для електричних мереж змінного струму.

Вихідні геометричні параметри ізолятора наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Геометричні параметри ізолятора типу ПС120Б [11]

Тип ізолятора	Максимальний номінальний діаметр ізоляційної деталі $D$ , мм	Номінальна будівельна висота $H$ , мм	Стрижневе з'єднання діаметром $d$ , мм [13]
ПС120Б	255	127	16

Для дослідження високовольтного ізолятора даного типу на допустимий рівень радіозавад на стандартизованій частоті 1 МГц було використано розроблену кафедру техніки і електрофізики високих напруг Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського та метрологічно атестовану Державним підприємством «Укрметртестстандарт» установку для випробування ізоляторів на допустимий рівень радіозавад [14].

У результаті отримано графік залежності рівня радіозавад  $V$  (у децибелах) від випробувальної напруги  $U_{\text{випр}}$  (діюче значення), який представлений на рис. 2.

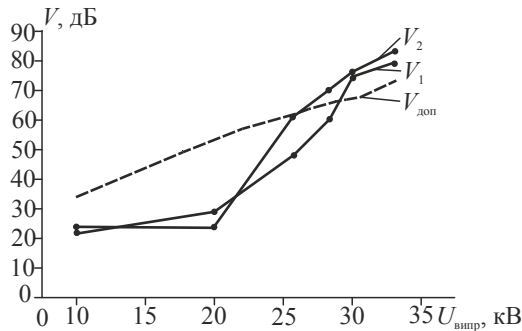


Рис. 2 Залежність рівня радіозавад від випробувальної напруги ізолятора  $U_{\text{випр}}$ :  $V_1, V_2$  — рівні радіозавад двох зразків ізолятора;  $V_{\text{доп}}$  — допустимий рівень радіозавад

З графіка на рис. 2 видно, що при збільшенні напруги понад  $U_{\text{випр}} = 20$  кВ спостерігається різке збільшення рівня радіозавад зразка ізолятора  $V_2$ , який перевищує допустиме значення в діапазоні  $U_{\text{випр}} \geq 26,4$  кВ. При напрузі  $U_{\text{випр}} \geq 28,8$  кВ відбувається перевищення допустимого значення рівня радіозавад зразка ізолятора  $V_1$ .

Як зазначено в [15], причиною збільшення рівня радіозавад є виникнення коронного або ковзного розрядів біля стрижня та шапки ізолятора.

Однак при підключенні до стрижня ізолятора типу ПС120Б високої змінної напруги  $U = 35$  кВ, проведені авторами статті спостереження за ГОСТ 1516.2 [16], показують, що біля стрижня та шапки нових виготовлених тарілчастих ізоляторів розрядів не відбувається.



За таких обставин різке збільшення рівня радіоавард може бути пояснене інтенсивним розвитком часткових розрядів (ЧР) в області ЦПЗ біля конічної частини стрижня ізолятора, які спричинені певним вмістом повітря та пористістю ЦПЗ.

У зв'язку з цим було проведено дослідження електричного поля високовольтного лінійного ізолятора (рис. 1) за допомогою його моделювання в програмному пакеті Comsol Multiphysics [17], в якому розраховувалась віссиметрична задача розподілу потенціалу методом кінцевих елементів.

При розрахунках були прийняті такі дані [18]:

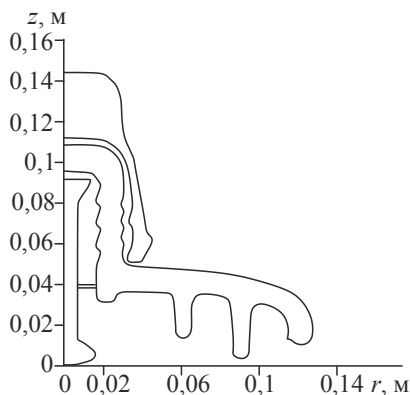
- для бітумної промазки — відносна діелектрична проникність  $\epsilon_r = 2.75$ , електропровідність  $\sigma = 3.16 \cdot 10^{-14}$  См/м;

- для цементно-піщаної зв'язки — відносна діелектрична проникність  $\epsilon_r = 6$ ; електропровідність  $\sigma = 2 \cdot 10^{-8}$  См/м;

- для скляної ізоляційної деталі — відносна діелектрична проникність  $\epsilon_r = 5.87$ ; електропровідність  $\sigma = 7.36 \cdot 10^{-15}$  См/м;

- прикладена напруга для ізолятора дорівнює амплітудному значенню і становить, відповідно,  $U = 10\sqrt{2}$ ;  $20\sqrt{2}$ ;  $30\sqrt{2}$ ;  $35\sqrt{2}$  кВ.

На рис. 3 представлений переріз розрахункової моделі ізолятора типу ПС120Б.



**Рис. 3. Переріз розрахункової моделі ізолятора типу ПС120Б в Comsol Multiphysics**

Результати розрахунку розподілу напруженості електричного поля в ізоляторі приведені на рис. 4.

З картини (рис. 4) встановлено, що найбільш напруженою в ізоляторі є область конічної частини стрижня ізолятора, де максимально проявляється дія електричного поля. Розрахункова напруженість в області заокруглення радіусом  $R = 0,5$  мм конічної частини стрижня ізолятора становить  $E = 42,3$  кВ/см (амплітудне значення) при нарузі на ізоляторі  $U = 10\sqrt{2}$  кВ.

З метою зниження напруженості електричного поля в області ЦПЗ біля конічної частини стрижня ізолятора запропоновано удосконалення конструкції ізолятора, яке полягає у збільшенні радіуса заокруглення  $R$  конічної частини стрижня. Але при цьому необхідно забезпечити еквівалентність моделей за умовою рівності напружень стискання  $\sigma_{ст}$  ЦПЗ.

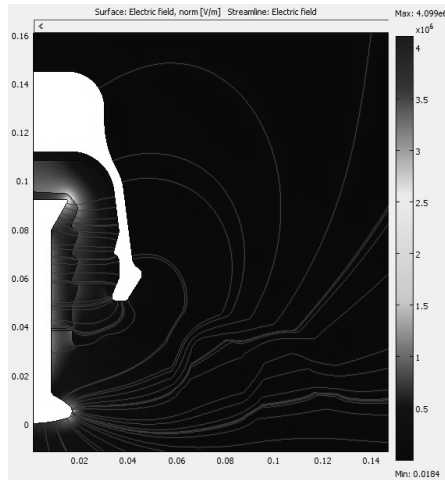


Рис. 4. Картина розподілення напруженості електричного поля в ізоляторі типу ПС120Б в Comsol Multiphysics при напрузі  $U=10\sqrt{2}$  кВ

Розрахункова модель стрижня ізолятора при заокругленні його конічної частини представлена на рис. 5.

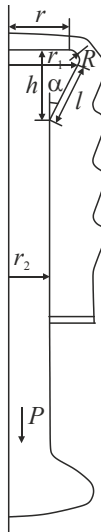


Рис. 5. Розрахункова модель ЦПЗ і стрижня ізолятора при заокругленні його конічної частини

Визначення напруження стисання  $\sigma_{ст}$  ЦПЗ проведено за формулою [19]:

$$\sigma_{ст} = \frac{1,1P \sin \alpha}{S_k}, \quad (1)$$

де  $P$  — максимальне механічне нормоване навантаження, кН;  $S_k$  — площа поверхні конічної частини стрижня,  $m^2$  та  $\alpha$  — кут за рис. 5; 1,1 — коефіцієнт

«запасу». Площа  $S_k$  може бути знайдена за формулою (2), як для поверхні зрізаного конуса:

$$S_k = \pi(r_1 + r_2)l, \quad (2)$$

де  $r_1$  — радіус верхньої основи зрізаного конуса, м;  $r_2$  — радіус нижньої основи зрізаного конуса, тобто радіус циліндричної частини стрижня, м;  $l$  — твірна зрізаного конуса, м.

Виходячи з геометричної побудови (рис. 5), радіус верхньої основи зрізаного конуса й твірна зрізаного конуса можуть бути розраховані за формулами (3), (4):

$$r_1 = r + R \cos \alpha; \quad (3)$$

$$l = \sqrt{(h - R)^2 + (r - r_2)^2 - R^2}, \quad (4)$$

де  $R$  — радіус заокруглення конічної частини стрижня, м;  $h$  — висота конічної частини стрижня ізолятора, м;  $\alpha$  — кут нахилу конічної частини стрижня ізолятора (наприклад, у градусах).

Для забезпечення рівності  $\sigma_{ст}$  при різних радіусах заокруглення конічної частини стрижня  $R$  від 0,5 до 3,5 мм було проведено варіювання висоти конічної частини стрижня ізолятора  $h$ . У результаті отримано розрахункові геометричні параметри конічної частини стрижня ізолятора, які наведені в табл. 2.

*Таблиця 2. Розрахункові геометричні параметри конічної частини стрижня ізолятора*

№	$R$ , м	$r$ , м	$r_1$ , м	$r_2$ , м	$h$ , м	$\alpha$ , °	$l$ , м
1	0,0005	0,0144	0,0148	0,008	0,0125	30,0	0,0136
2	0,001	0,0135	0,0144	0,008	0,0132	28,7	0,0133
3	0,0015	0,0127	0,0139	0,008	0,0137	27,4	0,0130
4	0,002	0,0118	0,0136	0,008	0,0143	26,1	0,0127
5	0,0025	0,0109	0,0132	0,008	0,0148	24,9	0,0123
6	0,003	0,0101	0,0128	0,008	0,0152	23,6	0,0120
7	0,0035	0,0092	0,0124	0,008	0,0156	22,4	0,0116

Проведено ряд розрахунків максимального значення напруженості електричного поля в Comsol Multiphysics для конструкцій ізоляторів з розрахунковими геометричними параметрами конічної частини стрижня ізолятора згідно з табл. 2. Отримані результати наведені в табл. 3 та представлені на рис. 6, на якому зображені графіки залежності максимальної напруженості електричного поля від радіуса заокруглення стрижня ізолятора.

*Таблиця 3. Результати розрахунків максимальної напруженості електричного поля при зміні радіуса заокруглення конічної частини стрижня ізолятора  $R$  та розрахунковому значенні прикладеної напруги  $U$*

№	$U$ , кВ	$E$ , кВ/см						
		$R = 0,5$ мм	$R = 1$ мм	$R = 1,5$ мм	$R = 2$ мм	$R = 2,5$ мм	$R = 3$ мм	$R = 3,5$ мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$10\sqrt{2}$	42,3	31,7	27,4	25,2	23,5	22,3	21,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	$20\sqrt{2}$	84,6	63,4	54,9	50,5	47,1	44,7	42,9
3	$30\sqrt{2}$	126,9	95,2	82,3	75,7	70,6	67,0	64,3
4	$35\sqrt{2}$	148,1	111,03	96,3	88,2	82,3	78,1	75,0

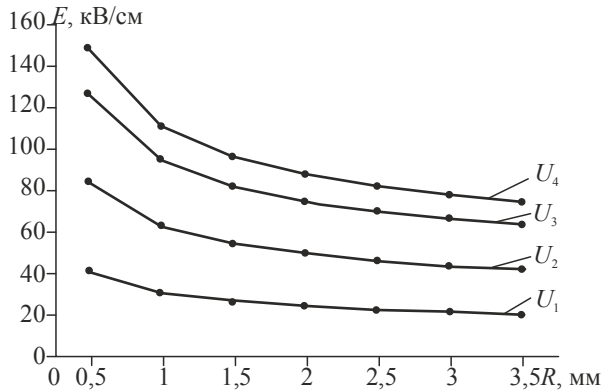


Рис. 6. Залежність максимальної напруженості електричного поля  $E$  від радіуса заокруглення конічної частини стрижня ізолятора  $R$  при різних значеннях напруги  $U_1 \dots U_4$ , кВ ( $10\sqrt{2}$ ;  $20\sqrt{2}$ ;  $30\sqrt{2}$ ;  $35\sqrt{2}$ )

З графіків (рис. 6) видно, що при збільшенні радіуса заокруглення  $R$  конічної частини стрижня ізолятора від 0,5 до 3,5 мм максимальна напруженість електричного поля  $E$  в ізоляторі буде зменшуватися.

При проведенні структурних експериментальних досліджень зразків зрізів ЦПЗ високовольтних лінійних ізоляторів типу ПС120Б виявлено, що вони містять сфероподібні повітряні включення (пори) з діаметром  $d_v$  від 0,05 до 0,25 мм.

Було розглянуто механізм виникнення часткового розряду у сферичному включенні (порі), заповненому газом з діелектричною проникністю  $\epsilon_v$ , яке знаходиться в товщі діелектрика з діелектричною проникністю  $\epsilon_d$  [20]. Під дією зовнішнього електричного поля діелектрик поляризується і на межі пори з'являються некомпенсовані заряди, які призводять до посилення електричного поля всередині газового включення. З урахуванням цього електричне поле всередині газового включення визначається [21]:

$$E_v = \frac{3\epsilon_d}{\epsilon_v + 2\epsilon_d} E_d, \quad (5)$$

де  $E_d$  — напруженість електричного поля в ЦПЗ, що оточує газове включення;  $\epsilon_v$  — діелектрична проникність газу;  $\epsilon_d$  — діелектрична проникність ЦПЗ.

Таким чином, електричне поле всередині пори перевищує поле в ЦПЗ. Якщо напруженість електричного поля всередині включення досягне критичного значення, почнеться процес ударної іонізації, достатньої для пробою

включення. Критичне значення напруги, при якому виникає ЧР, визначається законом, еквівалентним закону Пашена [22; 23]:

$$U_k = \frac{43,6 \cdot 10^6 \cdot P}{\ln(P \cdot d_b) + 12,8}, \quad (6)$$

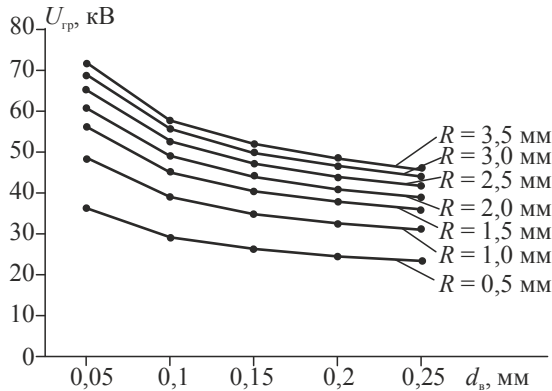
де  $P$  — тиск, атм;  $d_b$  — діаметр сферичного включення, м.

Максимальна напруженість електричного поля в ЦПЗ  $E_d$  була обрана згідно з рис. 6. Різниця потенціалів у газовому включенні відповідно до (5) становить:

$$U_b = E_b d_b, \quad (7)$$

де  $E_b$  розраховується за (5).

Виходячи з розрахункових значень за (6) і (7), було визначено граничні значення напруги на ізоляторі  $U_{гр}$ , при яких виникає пробій сферичного включення (пори). Одержані розрахункові результати представлені графічно на рис. 7.



**Рис. 7. Графік залежності граничних значень напруги на ізоляторі  $U_{гр}$ , при яких відбувається пробій включення (пори), залежно від діаметра пори  $d_b$  для різних значень радіуса заокруглення  $R$  конічної частини стрижня**

Як впливає з даних (рис. 7), при діаметрі включення (пори)  $d_b = 0,25$  мм відбувається пробій при граничному значенні напруги на ізоляторі  $U_{гр} = 23,4$  кВ (17,3 кВ діюче значення) для радіусі заокруглення  $R = 0,5$  мм, при  $U_{гр} = 31,2$  кВ (22,1 кВ діюче значення) для  $R = 1$  мм, при  $U_{гр} = 36$  кВ (25,5 кВ діюче значення) для  $R = 1,5$  мм, при  $U_{гр} = 39,1$  кВ (27,6 кВ діюче значення) для  $R = 2$  мм, при  $U_{гр} = 42$  кВ (29,7 кВ діюче значення) для  $R = 2,5$  мм, при  $U_{гр} = 44,2$  кВ (31,3 кВ діюче значення) для  $R = 3$  мм, при  $U_{гр} = 46,1$  кВ (32,6 кВ діюче значення) для  $R = 3,5$  мм. Максимальні значення напруги на ізоляторі  $U_{гр}$  при яких відбувається пробій, відповідають діаметру включення  $d = 0,05$  мм і дорівнюють для  $R = 0,5$  мм  $U_{гр} = 36,4$  кВ (25,7 кВ діюче значення);  $R = 1$  мм  $U_{гр} = 48,5$  кВ (34,3 кВ діюче значення);  $R = 1,5$  мм  $U_{гр} = 56,1$  кВ (39,7 кВ діюче значення);  $R = 2$  мм  $U_{гр} = 60,9$  кВ (43,1 кВ діюче значення);  $R = 2,5$  мм  $U_{гр} = 65,3$  кВ (46,2 кВ діюче значення),  $R = 3$  мм  $U_{гр} = 68,8$  кВ (48,6 кВ діюче значення),  $R = 3,5$  мм  $U_{гр} = 71,8$  кВ (50,8 кВ діюче значення).

При запропонованому удосконаленні конструкції високовольтного тарілчастого ізолятора, яке полягає у збільшенні радіуса заокруглення  $R$  його конічної частини стрижня від 0,5 мм до 3,5 мм, одержуємо зниження максимальної напруженості електричного поля  $E$  в області ЦПЗ ізолятора у 1,97 раза.

Аналіз механізму виникнення часткового розряду в сферичному включенні (пори) цементно-піщаної зв'язки показав, що пробій буде відбуватися при мінімальних граничних значеннях напруги на ізоляторі  $U_{гр}$  для діаметра включення (пори)  $d = 0,25$  мм та при максимальних граничних значеннях напруги на ізоляторі  $U_{гр}$  для діаметра включення (пори)  $d = 0,05$  мм.

Запропоноване зниження напруженості електричного поля  $E$  в області цементно-піщаної зв'язки біля конічної частини стрижня ізолятора забезпечить підвищення (по нарузі) порогу виникнення часткових розрядів у високовольтних тарілчастих ізоляторах, який за вищепроведеними розрахунками для радіуса заокруглення конічної частини стрижня ізолятора  $R = 3,5$  мм досягне 32,6 кВ (діюче значення) та наближається до граничного значення напруги робочого діапазону, завдяки чому можна очікувати суттєвого зниження рівня радіозавад високовольтних лінійних тарілчастих ізоляторів

### **Висновки**

1. Запропоновано удосконалення конструкції високовольтного тарілчастого ізолятора, яке полягає у збільшенні радіуса заокруглення його конічної частини стрижня при забезпеченні рівності максимальних напружень стисання  $\sigma_{ст}$  цементно-піщаної зв'язки.

2. При запропонованому удосконаленні конструкції високовольтного тарілчастого ізолятора досягається зниження максимальної напруженості електричного поля  $E$  в області цементно-піщаної зв'язки ізолятора в 1,97 раза.

3. Проаналізовано умови виникнення часткових розрядів у повітряних включеннях (порах) цементно-піщаної зв'язки та визначені граничні значення напруги на ізоляторі, при яких виникає пробій включень.

4. Одержані результати забезпечують можливість створення удосконалених конструкцій високовольтних лінійних тарілчастих ізоляторів зі зменшенням їх рівня радіозавад.

### **Література**

1. Кім Є.Д. Методика оценки качества закалки стеклодеталей высоковольтных линейных изоляторов / Є. Д. Кім // Електрифікація транспорту. — 2014. — № 8. — С. 34—39.

2. ДСТУ 2203. Ізолятори лінійні підвісні тарілчасті. Загальні технічні умови. — Київ : Держстандарт України, 1993. — 27 с.

3. Михайлов Д.И. Изоляторы высокого напряжения: учеб. пособие / Д. И. Михайлов. — Новочеркасск : НПИ, 1977. — 85 с., ил.

4. Кім Є.Д. Методологічні основи удосконалення високовольтних лінійних ізоляторів та методів їх випробувань: дис. ... д-ра наук: 05.09.13 / Є.Д. Кім. — Харків, 2003. — 410 с.

5. IEC 60383-1. Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V. Ceramic or glass insulator units for a. c. systems. Definitions, test methods and acceptance criteria. — The British Standards Institution, 1998. — 111 p.

6. Шевченко С.Ю. Моделирование электрического поля стеклянного изолятора в ВЛ 110 кВ / С.Ю. Шевченко, А.А. Окунь // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр.

Темат. вып.: Энергетика: надёжность и энергоэффективность. — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2011. — № 3. — С. 136—143.

7. *Бржезицький В.О.* Дослідження причин електричного перебиття підтримуючих ізолюючих підвісок середньої фази повітряної лінії електропередачі / В.О. Бржезицький, А.А. Щерба, О.Д. Подольцев, С.О. Троценко, С.Ю. Шевченко, Я.О. Гаран, С. Атарод // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». — 2011. — № 6. — С. 36—41.

8. *Kontargyri V.T.* Measurement and simulation of the voltage distribution and the electric field on a glass insulator string / V.T. Kontargyri, L.N. Plati, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos // Measurement. — 2008. — Vol. 41, # 5. — P. 471—480.

9. *Троценко Е.А.* Моделирование электрического поля изолирующих подвесок воздушных линий электропередач 35 кВ / Е.А. Троценко, А.А. Коваль // Доповіді за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики». — Київ : «Політехніка», 2014. — С. 329—330.

10. *Бржезицький В.О.* Експериментальне дослідження електричного поля повітряної лінії електропередавання змінного струму класу 330 кВ / В.О. Бржезицький, В.М. Сулейманов, С.О. Троценко, В.І. Хомініч, А.Г. Кулакевич // Энергетика: економіка, технології, екологія. — 2016. — № 2(44). — С. 7—12.

11. ГОСТ 27661. Изоляторы линейные подвесные тарельчатые. Типы, параметры и размеры, 1988. — 11 с.

12. *Кулик Н.М.* Влияние цементных связей на прочностные характеристики и долговечность подвесных высоковольтных изоляторов: дис. ... к-та наук: 05.17.11 / Н.М. Кулик. — Москва, 1997. — 283 с.

13. ГОСТ 27396. Арматура линейная. Сферические шарнирные соединения изоляторов. Размеры, 1993. — 21 с.

14. *Бржезицький В.О.* Розробка установки для випробування високовольтних ізоляторів на допустимий рівень радіозавад / В.О. Бржезицький, Я.О. Гаран, М. Ю. Лапоша // Технологічний аудит та резерви виробництва. — Харків, 2016. — № 1/1(27). — С. 37—41.

15. Техника высоких напряжений: Учебник для вузов / И.М. Богатенков, Ю.Н. Бочаров, Н.И. Гумерова, Г.М. Иманов и др.; Под ред. Г.С. Кучинского. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2003. — 608 с.: ил.

16. ГОСТ 1516.2 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции, 1997. — 32 с.

17. Офіційний сайт COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.comsol.com/>.

18. Справочник по электротехническим материалам: в 3-х т. / Под. ред. Ю.В. Корицкого и др. — 3-е изд., перераб. — Москва : Энергоатомиздат, 1987. — Т. 2. — 464 с.

19. *Костюков Н.С.* Электрические изоляторы / Н.С. Костюков, Н.В. Минаков, В.А. Князев и др. — Москва : Энергоатомиздат, 1984. — 296 с.

20. *Кучинский Г.С.* Изоляция установок высокого напряжения: учебник для вузов / Г.С. Кучинский В.Е. Кизевтер Ю.С. Пинталь; Под общ. ред. Г.С. Кучинского. — Москва : Энергоатомиздат, 1987. — 368 с.: ил.

21. *Исмагилов Ф.Р.* Математическое моделирование развития частичных разрядов в процессе старения диэлектрика / Ф.Р. Исмагилов, Д.В. Максудов // Вестник УГАТУ. — 2011. — Т. 15, № 3(43). — С. 98—100.

22. *Дмитриевский В.С.* О минимуме напряжения начала ионизации в газовом включении / В.С. Дмитриевский // Известия Томского политехнического института. — 1971. — Т. 204. — С. 9—13.

## TUNNELING TRANSPARENCY OF THE GRAPHENE SYMMETRICAL DOUBLE-BARRIER STRUCTURE WITH THE FERMI VELOCITY BARRIERS

A. Korol, S. Litvynchuk, I. Hutsalo, V. Vyshniak  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Grapheme  
Nanostructures  
Fermi velocity  
Dirac-Weyl equation  
Transmission coefficient*

**Article history:**

Received 01.11.2017  
Received in revised form  
16.11.2017  
Accepted 15.12.2017

**Corresponding author:**

V. Vyshniak

**E-mail:**

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

---

**ABSTRACT**

The motion of the relativistic Dirac-Weyl quasi-electrons is considered in the system that is the double-barrier tunneling-resonant structure with the symmetrical rectangular Fermi velocity barriers. The rates of the transmission of the quasi-electrons in this structure is calculated within a continuum model by the transfer matrix method. Focus is made on the analysis of the dependence of the quantum transparency of this system on its geometrical parameters: the barrier thickness  $d$  and the width of the quantum well  $w$ . It is shown in particular that the transmission rate strongly depends on these quantities and this allows to regulate flexibly the energy specter of the system which is considered.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-15

---

## ТУНЕЛЬНА ПРОЗОРИСТЬ ГРАФЕНОВОЇ СИМЕТРИЧНОЇ ДВОБАР'ЄРНОЇ СТРУКТУРИ З БАР'ЄРАМИ ШВИДКОСТІ ФЕРМІ

А.М. Король, С.І. Літвинчук, І.В. Гуцало, В.В. Вишняк  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті розглянуто рух релятивістських квазіелектронів Дірака-Вейля в системі, що являє собою двобар'єрну тунельно-резонансну структуру із симетричними прямокутними бар'єрами швидкості Фермі. Коефіцієнт трансмісії квазіелектронів у даній структурі розраховано в континуальній моделі методом трансферних матриць. Наголос зроблено на аналізі залежності квантової прозорості системи від її геометричних параметрів: товщини бар'єрів  $d$  і ширини квантової ями  $w$ . Показано, зокрема, що коефіцієнт трансмісії сильно залежить від величин  $d$  і  $w$ , що дає змогу гнучко регулювати енергетичний спектр системи, що розглядається.*

**Ключові слова:** *графен, наноструктури, швидкість Фермі, рівняння Дірака-Вейля, коефіцієнт трансмісії.*



**Постановка проблеми.** Останніми роками велика увага дослідників прикута до вивчення різних структур на основі графену, що природно пояснюється його нетривіальними властивостями, в тому числі електронними.

Достатньо назвати аналогію  $\pi$ -електронів графену з безмасовими діраківськими ферміонами при низьких енергіях (що формально описуються безмасовим рівнянням Дірака), лінійний закон дисперсії, властивість кіральності, клейнівське тунелювання, високу рухливість, балістичний транспорт, незвичайний квантовий ефект Холла тощо [1—13]. Слід також мати на увазі, що графен є перспективним матеріалом у сучасній електроніці з погляду заміни кремнієвої технології, розвиток якої підійшов до своєї межі, на графенову.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Балістичний транспорт квазіелектронів Дірака-Вейля крізь області графену з різними швидкостями Фермі (бар'єри швидкості) розглядався в [6—13]. Було виявлено ряд нових важливих закономірностей. Зокрема, показано, що трансмісія крізь бар'єр швидкості є сильно анізотропною, при нормальному падінні квазічастинок на бар'єр вона є ідеальною (аналог парадоксу Клейна), за умови  $v_F > v_0$  ( $v_F, v_0$  — швидкості Фермі в бар'єрі і в звичайному графені відповідно) існує критичний кут трансмісії (аналог кута Брюстера в оптиці) для безмасових діраківських електронів, спостерігаються сильні резонансні ефекти, сильний вплив магнітного поля на зв'язані стани тощо.

З метою регулювання транспортних властивостей графенових структур використовуються різні методи та прийоми, зокрема вивчався вплив на динаміку квазіелектронів зовнішніх електричного та магнітного полів. Ці поля можуть створювати потенціальні бар'єри для носіїв заряду, а змінюючи величину бар'єрів, можна зручно регулювати поведінку електронів або дірок. Недавно було запропоновано ще один шлях для керування електронними властивостями графенових структур, а саме: за допомогою просторової зміни швидкості Фермі [6]. Було запропоновано декілька методів одержання структур, в яких швидкість Фермі квазічастинок є просторово залежною. Це досягнення технології відкриває нові можливості для створення нанoeлектронних приладів з бажаними транспортними властивостями. Але оскільки не всі властивості і характеристики зазначених структур вивчені і відомі, їх дослідження триває.

У попередньому дослідженні [5] ми розраховували й аналізували коефіцієнт трансмісії квазіелектронів Дірака-Вейля крізь однобар'єрну графенову структуру з різними швидкостями Фермі. Об'єктом даного дослідження є двобар'єрна структура на основі графену. Слід відразу підкреслити, що процес квантового проникнення квазічастинок крізь двобар'єрну структуру істотним чином відрізняється від аналогічного процесу в однобар'єрній структурі. Це природним чином пов'язано з наявністю квантової ями в двобар'єрній структурі, що докорінно змінює умови тунелювання в ній.

Слід також підкреслити важливість двобар'єрної структури, пов'язану з тим, що вона є базовим елементом мультибар'єрних структур (надграток), які, як відомо, широко використовуються в сучасній нанoeлектроніці. Електронні процеси саме в двобар'єрній структурі обумовлюють і визначають квантову тунельну прозорість мультибар'єрних об'єктів.

Водночас двобар'ерна структура може бути самодостатньою і навіть вигіднішою, ніж мультибар'ерні об'єкти, через її менші розміри і більшу технологічність. Це твердження стосується, зокрема, важливої проблеми одержання негативного диференціального опору на основі механізму резонансного тунелювання.

**Метою дослідження** є аналіз процесів резонансного тунелювання в графеновій двобар'ерній структурі, в якій бар'ери утворюються за рахунок областей з різними швидкостями Фермі.

**Викладення основних результатів дослідження.** Вважатимемо, що до прямокутних симетричних бар'ерних областей прикладено зовнішній електростатичний потенціал  $U$  — так що фактично ми маємо справу із бар'ерами подвійної природи. Як відомо, за допомогою електростатичного потенціалу зручно регулювати транспорт носіїв заряду в бар'ерних системах, і далі буде видно, що справді наявність потенціалу  $U$  істотно впливає на рух носіїв заряду в структурі, що розглядається.

Оскільки ми розглядаємо графен, в якому швидкості Фермі квазічастинок залежать від просторової координати  $\vec{r}$ , тобто  $\vec{v}_F = \vec{v}_F(\vec{r})$ , рух квазіелектронів підпорядковується такому безмасовому рівнянню Дірака-Вейля:

$$i\hbar\vec{\sigma}\nabla[\sqrt{\vec{v}(\vec{r})}\phi(\vec{r})]\sqrt{\vec{v}(\vec{r})} = E\phi(\vec{r}), \quad (1)$$

де  $\vec{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y)$  — двовимірні матриці Паулі;  $\phi(\vec{r}) = [\phi_A(\vec{r}), \phi_B(\vec{r})]^T$  — двокомпонентний спінор;  $T$  — символ транспонування. Вводячи допоміжний спінор  $\varphi(r) = \sqrt{\vec{v}(\vec{r})}\phi(\vec{r})$ , можна записати рівняння (1) у такій формі:

$$-i\hbar\vec{v}(\vec{r})\vec{\sigma}\nabla\varphi(\vec{r}) = E\varphi(\vec{r}). \quad (2)$$

Припустимо, що зовнішній потенціал являє собою прямокутний бар'єр, розташований вздовж осі  $Ox$ . Тоді із рівняння (2) можна одержати:

$$\frac{d^2\varphi_{A,B}}{dx^2} + (k^2 - k_y^2)\varphi_{A,B} = 0, \quad (3)$$

де  $A, B$  відносяться до графенових підграток  $A$  і  $B$ , квазіімпульс  $k$  дорівнює  $k = (E - U)$  поза бар'єром і  $k = \frac{E - U}{v_F}$  всередині бар'єру, прийнято одиниці вимірювання  $\hbar = v_0 = 1$ , де  $v_0$  — швидкість Фермі в квантових ямах (у звичайному графені).

Якщо представити розв'язок для власних функцій у вигляді плоских хвиль, що рухаються вздовж осі  $Ox$  в прямому і зворотному напрямках, то одержимо:

$$\phi(x) = \left[ a^{iqx} \begin{pmatrix} 1 \\ g^+ \end{pmatrix} + b^{-iqx} \begin{pmatrix} 1 \\ g^- \end{pmatrix} \right], \quad (4)$$

де  $q = \sqrt{k^2 - k_y^2}$  для  $k^2 > k_y^2$ , і  $q = i\sqrt{k_y^2 - k^2}$  для  $k^2 < k_y^2$ ,  $g_{\pm}^{\pm} = \frac{(\pm q + ik_y)v_F}{E - U}$ .

Верхній рядок в (4) стосується підгратки  $A$ , нижній —  $B$ .

Використовуючи далі граничні умови у вигляді

$$\sqrt{v_F} \phi(x_b^-) = \sqrt{v_0} \phi(x_b^+), \quad (5)$$

де індекс  $b$  відноситься до бар'єру,  $x_b$  — координата межі: бар'єр — позабар'єрна область, можна знайти вираз для коефіцієнта трансмісії квазічастинок Дірака-Вейля крізь задану структуру.

В принципі для коефіцієнта трансмісії квазіелектронів крізь ДБТРС можна одержати аналітичну формулу, але оскільки вона є досить громіздкою, зручніше скористатися методом трансферних матриць. Матриця, яка в континуальній моделі переносить розв'язок через гетеромежі, має вигляд:

$$M_j = \frac{1}{\cos \theta_j} \begin{pmatrix} \cos(q_j \Delta x - \theta) & i \sin(q_j \Delta x) \\ i \sin(q_j \Delta x) & \cos(q_j \Delta x + \theta) \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\theta_j = \arg \sin \left( \frac{k_y}{k_j} \right),$$

де індекс  $j$  нумерує гетеромежі, величина  $\Delta x$  — це відстань, на яку переноситься розв'язок. Коефіцієнт трансмісії  $T$  виражається через діагональні елементи матриці, що є добутком  $n$  матриць  $M_j$ , де  $n$  дорівнює загальній кількості гетеромеж [11—13].

Проведені нами розрахунки показують, що спектри трансмісії мають яскраво виражений тунельно-резонансний характер, тобто являють собою набір почергово змінних областей енергії із високими, близькими до одиниці значеннями коефіцієнта трансмісії, і областей із набагато меншими його значеннями. Крім того, важливо зазначити, що в загальному випадку, тобто для довільних  $v_F$  спектри трансмісії є періодичними по енергії. Також важливо, що вони мають неупорядкований, хаотичний характер. Однак відомо, що одна з унікальних особливостей графену полягає в тому, що він може виявляти абсолютно оригінальні властивості для деяких ексклюзивних значень параметрів структур на його основі. Цей факт підтверджується і для проблеми, що розглядається у пропонованій статті.

Наведені далі рис. 1, 2, на яких зображено залежність коефіцієнта трансмісії  $T(E)$  квазіелектронів крізь ДБТРС з бар'єрами швидкості Фермі, показують, що, по-перше, спектри трансмісії можуть представляти дуже розмаїту конфігурацію дозволених (заборонених) енергетичних зон; по-друге, досліджувані спектри сильно залежать від геометричних параметрів розглядуваної структури, а саме: від товщин бар'єрів швидкості Фермі і ширини квантових ям.

Зупинимось спочатку на залежності спектрів трансмісії від ширини квантової ями  $w$ . Тут прослідковується певна однозначна тенденція зміни спектрів із зростанням величини  $w$ . Відзначимо такі найважливіші риси цих змін:

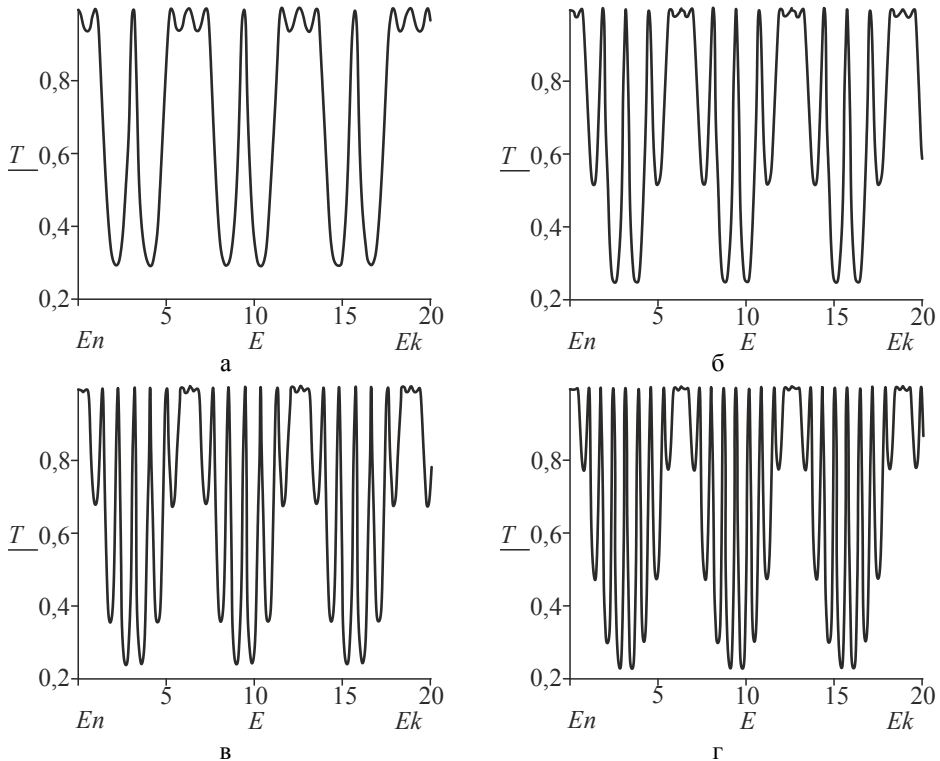
1. Для певних обраних значень співвідношення параметрів  $d$  і  $w$  період спектрів залишається незмінним, зокрема, для параметрів рис. 1 — період дорівнює  $2\pi$ .

2. Конфігурація дозволених і заборонених зон із зростанням величини  $\frac{W}{d}$  зберігається.

3. Кількість резонансів (зон пропускання) із збільшенням  $w$  (коли  $w$  дорівнює цілому числу) зростає рівно у  $2w$  разів. Очевидно, що щілини при цьому стають вузкими.

4. Щілини кожного даного спектра мають приблизно однакову ширину. При цьому найширші щілини розміщені в околі середини періоду, а в міру віддалення від середини щілини вузчають.

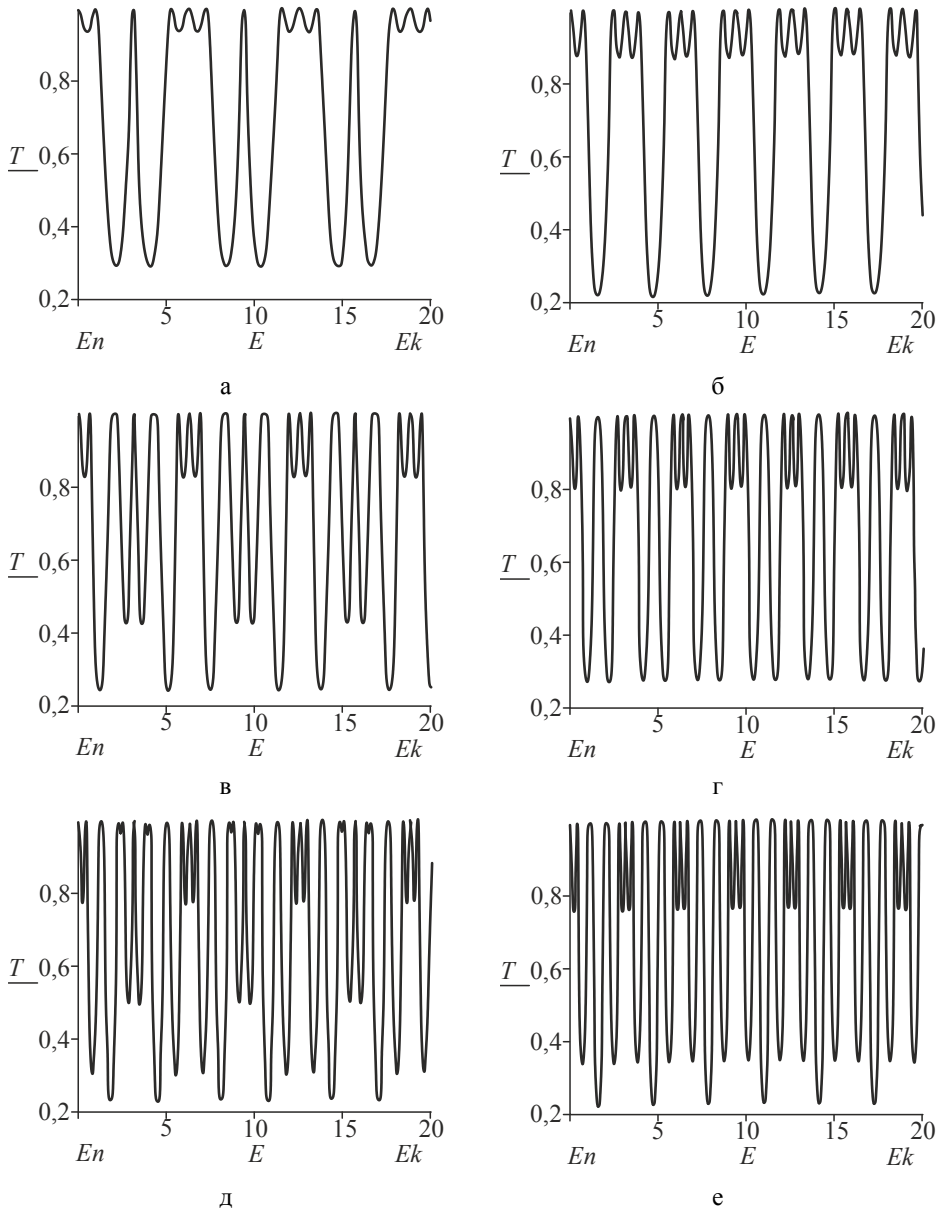
У тому разі, коли відношення  $\frac{w}{d}$  не дорівнює цілому числу, спектри мають складний і несиметричний характер.



**Рис. 1. Залежність коефіцієнта трансмісії квазіелектронів Дірака-Вейля крізь двобар'єрну тунельно-резонансну структуру із прямокутними бар'єрами швидкості Фермі. Значення параметрів: для всіх чотирьох рисунків  $v_F = 2$  (для обох бар'єрів); товщина обох бар'єрів однакова  $d = 1$ ; значення ширини квантової ями  $w = 1, 2, 3, 4$  для рисунків а, б, в, г відповідно**

Залежність спектрів трансмісії від товщини бар'єрів  $d$  не можна описати такою простою схемою, як для випадку зміни величини ширини квантової ями  $w$  — навіть для спеціально обраних значень  $d$  і  $w$ . Із зростанням  $d$  спостерігається згущення резонансних ліній, що, до речі, є особливістю, притаманною саме графеновим бар'єрним структурам. Але на відміну від попередньо розглянутого випадку зміни  $w$ , в даному разі (зміни  $d$ ) для кожного значення  $\frac{w}{d}$  утворюється своя індивідуальна конфігурація енергетичних

зон. При цьому для обраних значень параметрів, для яких спектри є регулярними і симетричними по енергії, період може бути рівний як  $2\pi$ , так і  $\pi$ . Так, у разі, коли  $w = 1$  для парних  $d$  дорівнює  $\pi$ , а для непарних —  $2\pi$ ; при цьому кількість зон для парних  $d$  дорівнює  $d/2$ , а для непарних  $d+1$ .



**Рис. 2.** Залежність коефіцієнта трансмісії квазіелектронів Дірака-Вейля крізь розглядану двобар'єрну тунельно-резонансну структуру із прямокутними бар'єрами швидкості Фермі. Значення параметрів: для всіх рисунків  $v_F = 2$  (для обох бар'єрів); значення ширини квантової ями однакове  $w = 1$ ; товщина обох бар'єрів однакова і для рисунків а, б, в, г, д, е дорівнює 1, 2, 3, 4, 5, 6 відповідно

## Висновки

Розраховано і проаналізовано коефіцієнт квантової трансмісії квазі-електронів Дірака-Вейля крізь два симетричні бар'єри із квантовою ямою посередині. Бар'єри утворюються за рахунок різних швидкостей Фермі в різних областях структури і є прямокутними. Показано, що спектри трансмісії мають яскраво виражений тунельно-резонансний характер. Важливою рисою спектрів є те, що вони періодичні по всій шкалі енергій. Конфігурація дозволених і заборонених зон істотно залежить від значень швидкості Фермі в бар'єрах, а також від товщини бар'єрів і ширини квантової ями. Із цього випливає, що дана структура може ефективно слугувати енергетичним фільтром для квазіелектронів Дірака-Вейля, за допомогою якого зручно регулювати діапазон енергій для фільтрації носіїв заряду.

## Література

1. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene // Nat. Materials. — 2007. — Vol. 6. — P. 183—188.
2. Castro Neto A. N., Guinea F., Peres N. M. R., Novoselov K.S., Geim A.K. The electronic properties of graphene // Rev. Mod. Phys. — 2009. — Vol. 81. — P. 109—121.
3. Pereira J.M., Peeters F.M., Chaves A., Barbier M., Vasilopoulos P. Klein tunneling in single and multiple barriers in graphene // Semicond. Science Technology. — 2010. — Vol. 25. — P. 033002—033009.
4. Cheianov V.V., Falko V.I. Selective transmission of Dirac electrons and ballistic magnetoresistance of n-p junctions in graphene // Phys. Rev. B. — 2006. — Vol. 74. — P. 041403—041408.
5. Король А.М. Вплив швидкості Фермі на коефіцієнт трансмісії квазіелектронів Дірака-Вейля в однобар'єрній графеновій структурі / А.М. Король, В.В. Вишняк, С.І. Літвинчук, І.В. Гуцало // Наукові праці національного університету харчових технологій. — Т. 22, № 3. — С.183—190.
6. Raoux A., Polini M., Asgari R., Hamilton A.R., Fazio R., MacDonald A.H. Velocity-modulation control of electron-wave propagation in graphene // Phys. Rev. B. — 2010. — Vol. 81. — P. 073407-073412.
7. Krstajic P.M., Vasilopoulos P. Ballistic transport through graphene nanostructures of velocity and potential barriers // J. Phys.: Condens. Matter. — 2011. — Vol. 23. — P. 135302—135312.
8. Lei Liu, Yu-Xian Li, Jian-Jun Liu. Transport properties of Dirac electrons in graphene based double velocity-barrier structures in electric and magnetic fields // Physics Letters A. — 2012. — Vol. 376. — P. 3342—3350.
9. Concha A., Tesanovic Z. Effect of a velocity barrier on the ballistic transport of Dirac fermions // Phys. Rev. B. — 2010. — Vol. 82. — P. 033413—033418.
10. Wang Y., Liu Y., Wang B. Resonant tunnelling and enhanced Goos-Hänchen shift in graphene double velocity barrier structure // Physica E. — 2013. — Vol. 53. — P. 186—192.
11. Zhao P., Chen X. Electronic band gap and transport in Fibonacci quasi-periodic graphene superlattice // Appl. Phys. Lett. — 2011. — Vol. 99. — P. 182108—182113.
12. Korol A.M., Medvid N.V., Litvynchuk S.I. Transport properties of the Dirac-Weyl electrons through the graphene-based superlattice modulated by the Fermi velocity barrier // Springer Proceedings in Physics. — 2015. — Vol. 167. — P. 215—221.
13. Korol A.M., Litvynchuk S.I., Bagliuk S.V., Isai V.M. Energy spectra of the graphene-based Fibonacci superlattice modulated by the Fermi velocity barrier // Physical Science International Journal. — 2016. — Vol. 9(3). — P. 1—8.

УДК 664.045.8.037

## ESTIMATING THE MICROBIOLOGICAL PURITY OF FROZEN AND DEFROSTED BERRIES

G. Simakhina, S. Khalapsina

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Low temperatures  
Microorganisms  
Freezing  
Cryogenous damages  
Defrostation  
Quality indices*

**Article history:**

Received 13.11.2017  
Received in revised form  
27.11.2017  
Accepted 14.12.2017

**Corresponding author:**

G. Simakhina

**E-mail:**

npuht@ukr.net

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-16

---

**ABSTRACT**

The contemporary stage of food technologies development reveals the tendency of using the regimes of raw material procession within the range of low temperatures to be perspective. The authors of the article grounded and experimentally proved the positive influence of cryogenous technologies on microbiological indices surveyed in frozen and defrosted fruit and berry half products. There was also shown the perspectives of preliminary procession of biological objects with solutions of natural protectors (sorbine and benzoic acids), which helped decrease the microbiological contamination of the raw materials. The authors estimated the microbiological purity of defrosted berries, considering the different methods to defrost them and their shelf life in defrosted form.

## ОЦІНКА МІКРОБІОЛОГІЧНОЇ ЧИСТОТИ ЗАМОРОЖЕНИХ І ДЕФРОСТОВАНИХ ЯГІД

Г.О. Сімахіна, С.В. Халапсіна

Національний університет харчових технологій

*На сучасному етапі розвитку харчових технологій перспективною є тенденція використання процесів з режимами перероблення сільськогосподарської сировини в області низьких температур. У статті обґрунтовано та експериментально підтверджено позитивний вплив холодових технологій на мікробіологічні показники заморожених і дефростованих плодово-ягідних напівфабрикатів. Показано перспективність попереднього оброблення біооб'єктів розчинами природних консервантів — бензойної та сорбінової кислот, завдяки чому вдається знизити мікробіологічну забрудненість матеріалів. Здійснено оцінку мікробіологічної чистоти дефростованих ягід при різних способах розморожування й тривалості зберігання у дефростованому вигляді.*

**Ключові слова:** *низькі температури, мікроорганізми, заморожування, кріо-ушкодження, дефростація, показники якості.*

**Постановка проблеми.** Харчова сировина та продукти з неї — це складні багатокомпонентні системи із сотень хімічних сполук. Вони включають

аліментарні сполуки, умовно неаліментарні й чужорідні, потенційно небезпечні речовини антропогенного та природного походження. Плоди та ягоди характеризуються високим вмістом води (до 90 %) й органічних сполук, тому вони є сприятливим середовищем для росту і розмноження мікроорганізмів. Це стосується і свіжої, й замороженої сировини. Причому на поверхні заморожених і дефростованих плодово-ягідних напівфабрикатів виявляють в основному ті ж мікроорганізми, що й на свіжій сировині. Цілий ряд мікроорганізмів потрапляє на поверхню плодів та ягід із ґрунту і повітря. На плодах, що мають порівняно низьке значення рН, розмножуються здебільшого дріжджі та міцеліальні гриби. Тут знаходять гриби *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Alternarium*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Botritis* та *Oospora*; дріжджі *Saccharomyces* і *Torula*, бактерії *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis* і *Staphylococcus aureus*.

Мікроорганізми легко пристосовуються до змін навколишнього середовища. Відповідно до літературних даних (Е. Алмаші, 1981), заморожування сільськогосподарської сировини рідким азотом не приводить до повної загибелі мікроорганізмів, а деякі з них можуть зберігати свою життєздатність протягом кількох років. Серед них є і такі представники, що не гинуть навіть після 100-кратного заморожування та розморожування (Л.К. Лозина-Лозинський, 1982). Більш того, за даними Е. Алмаші та інших дослідників, загибель мікроорганізмів істотно менша при температурах  $-20 \dots -25^\circ \text{C}$ , ніж при  $-5 \dots -12^\circ \text{C}$ .

Дослідження, проведені проф. Р.Ю. Павлюк зі співробітниками [1], показали, що основними групами мікроорганізмів, які трапляються у плодоовочевій сировині та продуктах її перероблення, є бактерії та мікроскопічні гриби.

За реакцією на температуру бактерії умовно поділяють на термофільні (теплолюбні), мезофільні (адаптовані до середніх температур) та психрофільні (холодолюбні). Оптимальною температурою розвитку термофільних бактерій є  $50 \dots 60^\circ \text{C}$ , мезофільних —  $25 \dots 30^\circ \text{C}$ , психрофільних —  $5 \dots 20^\circ \text{C}$ . Однак деякі види психрофільних бактерій можуть розвиватись і при температурах  $-5 \dots -8^\circ \text{C}$  [2]. Слід додати також, що бактерії розвиваються лише на тих харчових середовищах, які містять не менш ніж 20% води.

Мікроскопічні гриби представлено дріжджами (одноклітинні нерухомі організми) та пліснявою (нижчі рослини одноклітинної та багатоклітинної будови). Плісняві гриби розвиваються лише за наявності кисню шляхом спороутворення, і цей процес може здійснюватись при температурах до  $-11^\circ \text{C}$ . плісняві гриби мають високу ферментативну активність, викликають глибоку денатурацію білків і жирів. Тому оцінка мікробіологічної безпеки — надзвичайно важливий чинник, який характеризує якість сировини і готових продуктів. Для України як держави, орієнтованої на експорт сільськогосподарської продукції [3], дотримання необхідних показників безпеки є основною умовою виходу на європейський ринок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За результатами моніторингу ще наприкінці ХХ століття було визначено перелік пріоритетних забруднювачів, які підлягають контролю в різних групах продовольчої сировини та харчових продуктів. Відповідно до цього переліку, плодово-ягідна сировина і



продукти з неї мають контролюватись передусім за вмістом мезофільно аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ), що виражається в 1 г або 1 см<sup>3</sup> продукту; патогенних мікроорганізмів, бактерій, дріжджів, плісняви. Велику небезпеку з точки зору токсичності має патулін. Він продукується пеніцилами й аспергилами та виявляється переважно у продуктах, отриманих із неякісних фруктів і ягід.

Система заходів профілактики виникнення та накопичення мікотоксинів включає санітарно-мікологічний аналіз досліджуваних продуктів, до складу якого входить органолептична характеристика, визначення ступеня токсичності біологічними методами, посів на живильні середовища для вивчення мікрофлори, визначення вмісту токсинів хімічними методами. Разом з тим при переробленні сільськогосподарської сировини, в тому числі плодово-ягідної, значну увагу приділяють способам її деконтамінації та детоксикації, а також готових продуктів, уражених мікотоксинами. З цією метою використовують механічні, фізичні та хімічні методи [4].

Механічні методи очищення плодово-ягідної сировини полягають у видаленні забруднених матеріалів вручну або за допомогою електронно-калориметричних пристроїв. При фізичному способі здійснюють термічне оброблення або ультрафіолетове опромінення; хімічному — обробляють ягоди та фрукти розчинами окислювачів, сильних кислот або основ. Аналіз ефективності цих методів показав, що перший не дає належних результатів, а хімічні методи, окрім усього, призводять до руйнування не лише мікотоксинів, а й корисних нутрієнтів сировини і порушують їх усмоктування в організмі людини.

І недаремно такої широкої популярності набув сьогодні фізичний метод деконтамінації сільськогосподарської сировини, який ґрунтується на використанні низьких температур. Як і будь-яка прикладна галузь знань, холодильна технологія зобов'язана своїм становленням, розвитком і вдосконаленням практичним потребам харчової промисловості: необхідності отримання консервованої продукції високої якості з максимальним збереженням усього комплексу біологічно активних речовин, синтезованих у сировині природою; можливості тривалого зберігання такої продукції без погіршення її біохімічних та органолептичних показників, що загалом гарантує постачання населенню високовітамінної продукції впродовж цілого року.

У нинішніх умовах штучний холод завоював своє пріоритетне місце серед інших способів перероблення та зберігання плодовоовочевої сировини. І тому цей напрям є предметом особливої уваги науковців і практиків.

У праці видатного вченого Б. Флауменбаума [5] зазначається, що різке зниження температури при заморожуванні сировини приводить до переходу вологи з рідкого у твердий стан, унаслідок чого живлення мікроорганізмів припиняється, оскільки воно відбувається всмоктуванням рідких живильних середовищ. Установлено [6], що найстійкішими до низьких температур є плісняві гриби та дріжджі, а найбільш чутливими — бактерії, які не утворюють спор. Водночас усі автори зазначають, що повного відмирання мікроорганізмів при заморожуванні практично не відбувається.

Виявлено, що стійкість мікроорганізмів до негативних температур залежить від ряду чинників: величини кристалів льоду, температури, швидкості її

зниження, тривалості впливу, реакції середовища. Під дією цих чинників, як і для всіх біологічних об'єктів, відбувається кріоушкодження клітин та їх руйнування. Відповідно до концепції Б. Льюїс (1930—1940), в основі руйнування будь-яких біологічних об'єктів лежить один фундаментальний факт: утворення поза- або внутрішньоклітинних кристалів льоду, які й ініціюють усі кріоушкодження клітинних структур.

Згідно з дослідженнями П. Мейзура (1966—1974), при повільному заморожуванні процес кристалізації води відбувається переважно у міжклітинному просторі, оскільки вода встигає покинути клітини. Вона частково дегідратована, і при замерзанні ріст внутрішньоклітинних кристалів льоду не відбувається — росте позаклітинний лід у вигляді великих кристалів, які й викликають руйнування протоплазми і клітинних оболонок мікроорганізмів. При швидкому заморожуванні переохолоджена вода не встигає мігрувати з клітин, унаслідок чого зростає кількість зародків надзвичайно дрібних внутрішньоклітинних кристалів льоду (10...40 мкм), не здатних спричинити механічне руйнування клітинних структур.

Проф. Р.Ю. Павлюк наводить результати експериментальних досліджень [1], згідно з якими при заморожуванні фруктів та овочів рідким азотом із високою швидкістю охолодження (10...20) °С/хв до кінцевої температури -40° С викликає зменшення кількості мікроорганізмів на 38...65%. Заморожування в діапазоні швидкостей від 1 до 10 °С/хв до температури -10...-20 °С сприяє загибелі всього 4...11% мікроорганізмів. Хоча, за даними Е. Алмаші та Ф. Мещерякова (1975), найбільша кількість мікробних клітин руйнується саме в інтервалі температур -5...-12° С.

**Викладення основних результатів дослідження.** Мікробіологічні дослідження на наявність у сировині та заморожених напівфабрикатах патогенних мікроорганізмів, бактерій, дріжджів, плісняви здійснювали методами, передбаченими в ГОСТах: 1044.15-94; 10444.12-88; 26670-91, 30518-91. Аналізи проводили чашковим способом кількісного обліку на твердих живильних середовищах. Загальну кількість бактерій визначали на м'ясо-пептонному агарі, кількість пліснявих грибів і дріжджів — на сусло-агарі.

Для дослідження обрано ягоди малини (як представника культивованих рослин) та ягоди ожини (дикорослі). Ягоди після попередньої підготовки упаковували у поліетиленові пакети завтовшки 30...60 мкм, герметизували шляхом термозварювання, заморожували у морозильній установці при температурі -35...-37° С і зберігали в морозильній камері протягом певного періоду при -18° С. Частину ягід перед заморожуванням обробляли розчином, до складу якого входять сорбінова та бензойна кислоти. Це природні консерванти, які широко використовуються у плодоовочевій промисловості для запобігання мікробіологічному псуванню продукції. Їх додавання затримує розвиток мікроорганізмів і викликає їхню часткову загибель.

Сорбінова та бензойна кислоти синтезуються в ягодах журавлини, брусниці тощо, і це забезпечує їх тривале зберігання у звичайних умовах упродовж тривалого терміну.

За результатами досліджень науковців ВНДІ консервної та овочесушильної промисловості [7], добавки сорбінової кислоти (C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>COOH) або бензой-

ної ( $C_6H_5COOH$ ) до консервованої продукції затримують розвиток пліснявих грибів і дріжджів у 1,5...1,9 раза ефективніше, ніж нові синтетичні консерванти (парабени, юглон тощо). Причому для інгібування розвитку дріжджів концентрація кожного з консервантів має бути в 2...4 рази більшою, ніж для пліснявих грибів. Ми скористалися рекомендаціями авторів статті щодо концентрації сорбінової та бензойної кислот у розчинах для попереднього оброблення ягід перед заморожуванням: вона становить, відповідно, 0,05% та 0,14%.

Мікробіологічні дослідження дослідних зразків ягід проводили відразу після заморожування, після дефростації і зберігання в дефростованому вигляді у холодильній камері при температурі 3...5° С протягом певного часу. Показники визначали в середній пробі зразків у триразовій повторюваності. У табл. 1 наведено результати оцінки мікробіологічної чистоти ягід малини та ожини безпосередньо після заморожування.

*Таблиця 1. Рівень мікробіологічної чистоти ягід після заморожування*

Показник	Гігієнічний норматив	Ягоди малини		Ягоди ожини	
		Необроблені	Оброблені	Необроблені	Оброблені
КМАФАнМ, КУО/г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Плісені, КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено
Дріжджі, КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$	Не виявлено

Передусім слід зазначити, що патогенних мікроорганізмів, у тому числі бактерій роду *Salmonella* (у 25 г) ні у свіжих ягодах, ні у заморожених напівфабрикатах не виявлено.

Відповідно до наведених результатів, у досліджуваних об'єктах відсутні також бактерії групи кишкових паличок (коліформи). Дріжджі виявлено лише у зразку ягід ожини, необроблених розчином суміші сорбінової та бензойної кислот, однак їхня кількість у 20 разів менша від гігієнічного нормативу. Кількість МАФАнМ у ягодах ожини ( $4,3 \cdot 10^2$ ) вища, ніж у малині ( $2,9 \cdot 10^2$ ). І для кожного виду ягід очевидним є позитивний ефект оброблення перед заморожуванням розчинами природних консервантів. Завдяки цьому кількість МАФАнМ для ягід малини зменшується на 27,6%, а для ожини — на 34,9%. Плісняві гриби у невеликих кількостях виявлено лише в ягодах, необроблених консервантами.

Загалом унаслідок заморожування ягід кількість мікроорганізмів зменшується на 28...56%, що узгоджується з результатами досліджень інших авторів. Це при тому, що заморожування вели методом швидкого зниження температури, при якій утворений дрібнокристалічний лід незначно руйнує плазматичні мембрани та клітинні оболонки як об'єктів заморожування, так і мікроорганізмів.

Щоб пояснити позитивний вплив заморожування (незалежно від способів його реалізації) на підвищення мікробіологічної чистоти плодово-ягідної

сировини, необхідно ввести поняття «температурний шок клітини». Під цим поняттям автори [6; 8] розуміють стан структурного руйнування плазматичної мембрани або клітини в цілому, яке відбувається після швидкого зниження температури до 0° С і нижче. За спостереженнями А. Білоуса та В. Грищенка [8], швидкість руйнування клітин залежить передусім від вмісту холестерину в мембранах. Більшість мікроорганізмів належать до об'єктів із незначною концентрацією холестерину, тому їхні клітинні структури здатні руйнуватись уже після швидкого охолодження.

Таким чином, вплив заморожування біоматеріалів з використанням низьких температур на руйнування мікроорганізмів варто розглядати з двох позицій: ушкодження їхніх клітинних структур, пов'язані з деструктивною дією утворених позаклітинних або внутрішньоклітинних кристалів льоду, і ушкодження, викликані розвитком температурного шоку. І оскільки в мембранах мікроорганізмів мало холестерину, який сприяє жорсткому зв'язуванню ліпідів у стабільні холестерин-фосфоліпідні кластери [9], стійкі до дії температурного шоку, бар'єрні властивості порушуються і холодний шок розвивається в зоні помірно низьких температур.

Слід зазначити, що у кріобіології [8] до низьких температур відносять інтервал від 0 до -273° С.

Відомо, що істотних змін зазнають компоненти заморожених напівфабрикатів при дефростації. Більшість цих змін мають негативний характер, тому необхідними є дослідження впливу способів розморожування на показники мікробіологічної безпеки. Отримані результати наведено у табл. 2. Досліджували ягоди ожини, оброблені перед заморожуванням розчинами сорбінової та бензойної кислот, і дефростованих через 6 місяців зберігання при температурі -18° С.

Дефростацію проводили 4 способами: 1 спосіб — на повітрі при температурі 18...22° С; 2 спосіб — у мікрохвильовій печі; 3 спосіб — у холодильній камері при 0° С; 4 спосіб — у водяній бані при 37...42° С.

Згідно з даними, у заморожених напівфабрикатах через 6 місяців зберігання не виявлено ні БГКП, ні пліснявих грибів, ні дріжджів. Навпаки, при зберіганні заморожених ягід при температурі -18° С кількість МАФАНМ зменшилась на 19,6%. Подібну тенденцію спостерігали й інші автори [10]. Тобто руйнівний вплив заморожування на мікроорганізми продовжується і в процесі низькотемпературного зберігання. Це априорі свідчить про те, що мікрофлора плодів та ягід представлена організмами з низьким вмістом холестерину, і холодний шок виявляє свою дію тривалий час, призводячи поступово все більше клітин до втрати життєздатності.

**Таблиця 2. Рівень мікробіологічної чистоти ягід ожини, дефростованих різними способами**

Досліджувані зразки	КМАФАнМ, КУО / г	БГКП (коліформи), в 1 г	Плісняві гриби, КУО / г	Дріжджі, КУО / г
1	2	3	4	5
Заморожені ягоди (контроль)	2,8 · 10 <sup>2</sup>	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

*Продовження табл. 2.*

1	2	3	4	5
Заморожені ягоди через 6 місяців зберігання	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 1	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 2	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 3	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
За способом 4	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Отримані результати показали також, що спосіб дефростації майже не впливає на рівень мікробіологічної чистоти напівфабрикатів, за винятком способу 3 — відігрів у холодильній камері. Очевидно, тут знову спрацьовує ефект температурного шоку, і кількість мікроорганізмів зменшується ще на 13%. Для вибору найкращого варіанта розморожування необхідні подальші дослідження із з'ясування кількості втраченого при дефростації соку та біологічно активних речовин, вологоутримуючої здатності ягід тощо.

Цікаво також простежити за динамікою зміни мікробіологічних показників у дефростованих ягодах протягом певного періоду зберігання. Для цього дефростовані ягоди зберігали у холодильній камері при температурі  $5...6^\circ\text{C}$  протягом 2, 24 і 36 годин. Результати наведено у табл. 3. Дефростацію ягід проводили у холодильній камері при  $0^\circ\text{C}$ .

Згідно з табличними даними, протягом першої доби зберігання дефростованих ягід з'явилась невелика кількість дріжджів, яка збільшилась до кінця зберігання до  $3,0 \cdot 10^1$  КУО / г, однак ця величина значно менша від гігієнічного нормативу ( $2,0 \cdot 10^2$ ). Ні патогенних мікроорганізмів, ні колиформ, ні пліснявих грибів за досліджений термін у ягодах не виявлено.

**Таблиця 3. Вплив тривалості зберігання дефростованих ягід ожини на рівень мікробіологічної чистоти**

Досліджувані зразки	Тривалість зберігання, години	КМАФАнМ, КУО/г	БГКП (колиформи), в 1 г	Плісняві гриби, КУО / г	Дріжджі, КУО / г
Заморожені ягоди (контроль)	—	$2,8 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Заморожені ягоди через 6 місяців зберігання	—	$2,3 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Дефростовані ягоди	2	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
	24	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$1,0 \cdot 10^1$
	36	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено	$3,0 \cdot 10^1$

### **Висновки**

Перспективи широкого впровадження низькотемпературних технологій у харчовій промисловості ґрунтуються на вивченні цілого комплексу питань, пов'язаних із доцільністю, ефективністю та економічністю їх використання. У межах дослідження з'ясовано вплив низькотемпературних технологій на показники безпеки напівфабрикатів, передусім пов'язаних із їхньою мікро-

біологічною чистотою. Умови проведення низькотемпературних процесів справляють позитивний вплив на зниження мікробіологічної забрудненості плодово-ягідної сировини при її заморожуванні, зберіганні та дефростації. На загибель мікроорганізмів при заморожуванні впливають температура і тривалість процесу, реакція середовища, швидкість заморожування і залежна від цього структура кристалів льоду. З'ясовано роль температурного шоку на руйнування плазматичних мембран та клітинних структур мікроорганізмів. Способи дефростації практично не впливають на рівень мікробіологічної чистоти матеріалів. Це дає підстави стверджувати, що запропонована технологія заморожування, зберігання та дефростації плодово-ягідних напівфабрикатів відповідає гігієнічним нормативам стосовно безпеки харчових продуктів. Природні антисептики — бензойну та сорбінову кислоти — доцільно використовувати для попереднього оброблення біооб'єктів перед заморожуванням.

### Література

1. Новые технологии витаминных углеводсодержащих фитодобавок и их использование в продуктах профилактического действия : монография / Р.Ю. Павлюк, А.И. Черевко, И.С. Гулый и др. — Харьков ; Киев, 1997. — 285 с.
2. Мікробіологія харчових виробництв: навч. посіб. / Т.П. Пирог, Л.Р. Решетняк, В.М. Поводзинський, Н.М. Грегірчак. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 464 с.
3. Єдина комплексна стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій на 2015—2020 роки [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://minagro.gov.ua/-node16025>.
4. *Позняковский В.М.* Гигиенические основы питания, безопасность и экспертиза продовольственных товаров : учебник / В.М. Позняковский. — 2-е изд. — Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1999. — 448 с.
5. *Флауменбаум Б.Л.* Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум. — Москва : Легкая и пищ. пром-сть, 1982. — 268 с.
6. *Головкин Н.А.* Холодильная технология пищевых продуктов. — Ч. 1 / Н.А. Головкин. — Москва : Пищ. промышленность, 1984. — 240 с.
7. *Подлесный А.Н.* Консерванты в плодоовощной промышленности / А.Н. Подлесный, В.А. Ломачинский, О.И. Квасенков // Пищевая промышленность. — 2006. — № 2. — С. 54—55.
8. *Белоус А.М.* Кробиология : монография / А.М. Белоус, В.И. Грищенко. — Киев : Наукова думка, 1994. — 432 с.
9. *Гонський Я.І.* Біохімія людини : підручник / Я.І. Гонський, Т.П. Максимчук, М.І. Калінський. — Тернопіль : Укрмедкнига, 2002. — 744 с.
10. *Борщ Г.Г.* Вплив заморожування та холодильного зберігання овочів на життєдіяльність мікроорганізмів / Г.Г. Борщ, С.О. Белінська // Проблеми харчування. — 2003. — № 7. — С. 71—73.

УДК 633.88:664.68

**STUDY OF THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS IN MONARDA DIDYMA LEAVES WITH AIM OF THE USE OF SPISE-AROMATIC PHYTO RAW MATERIALS IN PRODUCTION OF CRACKERS WITH EXTENDED SHELF LIFE**

V. Obolkina, T. Nosenko, O. Dzyhar  
*National University of Food Technologies*  
D. Rakhmetov  
*M.M. Hryshko National Botanical Garden*

**Key words:**

*Monarda didyma*  
*Biologically active compounds*  
*Antioxidants*  
*Aromatic compounds*  
*Preservation agents*  
*Spice-aromatic phyto raw materials*  
*Phenolic compounds*

**Article history:**

Received 06.11.2017  
Received in revised form 28.11.2017  
Accepted 18.12.2017

**Corresponding author:**

O. Dzyhar  
E-mail:  
npnuht@ukr.net

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-17

**ABSTRACT**

It was determined the content of biologically active compounds in leaves of monarda didyma, it was identified the composition of such components as phenolic and substances, terpenes, terpenoids, sugars and other substances. The high antioxidant potential of raw materials is proven due to the presence of phenolcarbonic acids, flavonoids and also the bactericidal properties due to the content of thymol, carvacrol, d-germacrene,  $\alpha$ -terpinolene. The efficiency of the use of native spice-aromatic phyto raw materials as natural antioxidant, preservation agent and flavoring in the technologies of new food products, especially crackers with spicy taste, is substantiated.

**ВИВЧЕННЯ ВМІСТУ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК У ЛИСТІ МОНАРДИ ДВІЙЧАСТОЇ З МЕТОЮ ВИКОРИСТАННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНОЇ ФІТОСИРОВИНИ ПРИ СТВОРЕННІ КРЕКЕРА З ПОДОВЖЕНИМ ТЕРМІНОМ ПРИДАТНОСТІ**

V.I. Obolkina, T.T. Nosenko, O.O. Dzigar  
*Національний університет харчових технологій*  
Д.Б. Рахметов  
*Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України*

У статті визначено вміст біологічно активних сполук у листі монарди двійчастої, ідентифіковано склад фенольних, ароматичних сполук, терпенів,

терпеноїдів, цукрів та інших речовин. Доведено високий антиоксидантний потенціал сировини завдяки наявності фенолкарбонових кислот, флавоноїдів і бактерицидних властивостей завдяки вмісту тимолу, карвакролу, *d*-гермакрину, альфа-терпіноліну. Обґрунтовано ефективність використання вітчизняної пряно-ароматичної фітосировини у технологіях нових харчових продуктів, зокрема крекерів з пікантним смаком, як природного антиоксиданта, консерванта, ароматизатора.

**Ключові слова:** монарда двійчаста, біологічно активні речовини, антиоксиданти, ароматичні сполуки, консерванти, пряно-ароматична фітосировина, фенольні сполуки.

**Постановка проблеми.** Пряно-смакові рослини є перспективним джерелом для харчової галузі, зокрема кондитерської. Ефірні олії, цукри, дубильні та фенольні речовини відіграють важливу роль у забезпеченні смаку й аромату кондитерських виробів. Перспективною рослинною фітосировиною, що має приємний смак і аромат, підвищений вміст біологічно активних речовин, які виявляють позитивну дію на організм людини, зокрема антиоксидантну, протекторну, антисептичну, протизапальну, є листя монарди двійчастої.

Монарда двійчаста (*Monarda didyma*) — багаторічна трав'яниста рослина, що належить до родини Lamiaceae. Культивуються переважно такі види рослин: *M. didyma*, *M. fistulosa*, *M. punctata* та *M. citriodora*. Їх використовують у харчовій, ефіроолійній промисловості та медицині. Ефірна олія монарди має високу бактерицидну активність, яка зберігається при переробці сировини. У США *M. punctata*, *M. fistulosa* та *M. didyma* з 1882 р. по 1950 р. входили у Фармакопею як джерело рослинного тимолу. Антисептик тимол широко використовують у медицині як фунгіцидний, бактерицидний та антигельмінтний засіб [1—6].

Якість продуктів, виготовлених з додаванням пряно-ароматичної сировини, залежить від таких смакоутворюючих речовин, як цукри, кислоти, дубильні речовини, флавоноїди тощо. Але перш за все пряно-ароматичні рослини цінують за вміст ефірної олії, яка надає фітомасі приємного аромату. Види роду *Monarda* давно користуються популярністю в Європі як перспективні ефіроолійні рослини. Селекційні дослідження та вивчення компонентного складу ефірної олії рослин *M. fistulosa* та *M. didyma* проводилися в Росії, Молдові та Литві [7—11].

Листя монарди є джерелом натуральних антиоксидантів, насамперед фенольних сполук, які здатні швидко реагувати з пероксидними радикалами, руйнувати гідропероксиди без утворення вільних радикалів, що спричиняє розривання ланцюга окисних реакцій і сповільнення швидкості окиснення жирів під час зберігання, подовжуючи такими чином термін придатності виробів [12; 13]. На відміну від країн Європи та Америки, де монарда введена в культуру як пряно-ароматична та лікарська рослина, в Україні вона не набула значного поширення.

Фенольні сполуки, наявні у рослинах, рідко зустрічаються у вільному стані. Більшість їх представлено у вигляді різноманітних О- і С-глікозидів.



Різноманіття флавоноїдних глікозидів обумовлено значним набором цукрів (глюкози, арабінози, ксилози та ін.) і можливостями приєднання їх як агліконів, а також тим, що цукри можуть мати різну конфігурацію глікозидних зв'язків. Отже, ідентифікаційне та кількісне визначення фенольних сполук у рослинній сировині потребує багатосторонніх досліджень. Тому для досліджень було використано комплекс методів, що доповнюють один одного. Найбільш доцільним є метод високоєфективної рідинної хроматографії, який дає можливість визначити класи органічних сполук.

**Метою дослідження** є вивчення хімічного складу та визначення вмісту біологічно активних сполук у листі монарди двійчастої і можливості застосування вітчизняної пряно-ароматичної фітосировини у виробництві нових борошняних кондитерських виробів, зокрема крекерів з пікантним смаком.

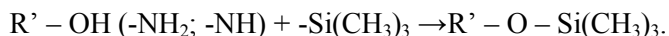
**Об'єкти і методи.** Об'єктом досліджень було листя монарди двійчастої (*Monarda didyma*), зразки отримували у Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка НАН України. Дослідження хімічного складу листя монарди двійчастої проводили у лабораторії НВК «Екофарм» методами:

- ультрашвидкісної високоєфективної рідинної хроматографії (UPLC) при діодноматричному детектуванні (PDA), який одночасно записує електронний спектр поглинання сполук. Результати отримані на приладі фірми WATERS-(USA). Аналіз проводили в градієнтному режимі зміни складу рухомої фази (ацетонитрил-вода). Колонка ACQUITY UPLC® BEH<sub>C18</sub> 1,7 μm, 50\*2,1 mm;

- спектроскопії. Результати були отримані на приладі фірми Specord 210 Plus (Німеччина);

- газової хроматографії з мас-селективним детектуванням та бібліотекою мас-спектрів до і після кислотного гідролізу вихідних та модифікованих (TMS дериватів) форм. Результати були отримані на приладі фірми Agilent GC/MSD 7890A/5975C з капілярною колонкою HP-5MS.

Оскільки органічні сполуки, що містять рухливий атом водню (вуглеводи, кислоти, флавоноїди тощо), погано піддаються аналізу методом газової хроматографії, на практиці використовують метод заміщення протону на більш гідрофобну групу, що дає змогу застосувати метод газової хроматографії:



З цією метою успішно використовують ангідриди, хлорангідриди, альдегіди, хлорвмісні сполуки. В результаті утворюється гідрофобна сполука, що покращує хроматографічні характеристики, селективність, а також робить достовірну ідентифікацію. Застосування мас-селективного детектора суттєво підвищує ефективність ідентифікаційного процесу (за наявності бібліотеки мас-спектрів). У зв'язку з тим, що сполуки з рухливими атомами водню в рослинах наявні у кон'югованому вигляді і такі форми складні для ідентифікації, для отримання вільних агліконів було використано кислотний гідроліз. Після проведення гідролізу, аглікони виділяли екстракційним методом. Також досліджували етанольні розчини гідролізатів після видалення у вакуумі розчинника (етилового спирту).

Для ідентифікації сполук з рухливими атомами використано метод дериватизації (отримання похідних), що дає змогу збільшувати молекулярну масу

вихідної сполуки на відому величину, проводити більш якісне хроматографування, а також, збільшивши її вихідну молекулярну масу, — достовірну ідентифікацію. В дослідженнях використовували для цієї мети реагент N-метил-N-триметилсиліл-трифторацетамід (TMS).

*Отримання етанольного концентрату (органічних сполук).* Наважку сухої подрібненої сировини (2,5 г) переносили у плоскодонну колбу об'ємом 100 мл, доливали 60 мл 96% етилового спирту і приєднували до зворотного холодильнику та витримували на киплячій водяній бані протягом 90 хв. Після цього водяну баню охолоджували, холодильник промивали 5 мл етиловим спиртом і вміст колби переносили (відфільтровували) в мірну колбу об'ємом 100 мл. Потім у колбу додавали 35 мл етилового спирту і повторювали процедуру. Об'єм етанольного концентрату доводили до 100 мл.

*Проведення кислотного гідролізу.* Наважку сировини (приблизно 0,4 г), зваженої з точністю до четвертого знака, переносили у плоскодонну колбу об'ємом 100 мл, додавали 20 мл етилового спирту, 20 мл дистильованої води та 10 мл концентрованої соляної кислоти. Після приєднання колби до зворотного холодильника, суміш витримували 90 хв на киплячій водяній бані. Після цього холодильник промивали 20 мл дистильованої води, охолоджували колбу. Вміст колби переносили в ділільну воронку через паперовий фільтр об'ємом 100 мл, вносили 25 г хлориду натрію, ретельно перемішували і вилучали органічні сполуки етилацетатом (попередньо додавши до нього воду) — двічі по 30 мл. Після висушування етилацетатних екстрактів безводним сульфатом натрію, органічний розчинник відганяли у вакуумі. Залишок після відгонки розчиняли в 50 мл етилового спирту.

*Отримання TMS дериватів.* 5 мл етанольного концентрату зразка поміщали у віалу і при 78° С видаляли етиловий спирт. До сухого залишку доливали 300 мкг безводного піридину і 100 мкг реагенту N-метил-N-триметилсиліл-трифторацетамід. Віалу закривали і поміщали в УЗБ на 30 хв. Після цього у віалу додавали 1 мл ацетонітрилу, перемішували і проводили дослідження методом ГХ/МС згідно з описаною методикою.

**Результати і обговорення.** Розділення етанольного концентрату методом UPLC-PDA підтверджує наявність у них фенольних і поліфенольних сполук (рис. 1). Аналіз дав змогу ідентифікувати 8 сполук. Визначено кількісне співвідношення між цими сполуками (табл. 1).

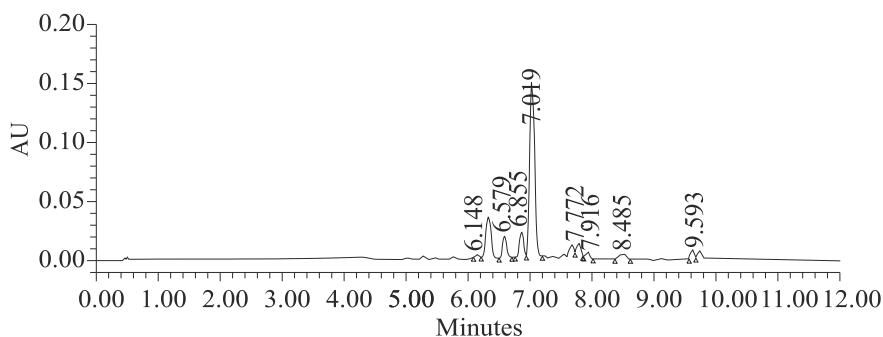
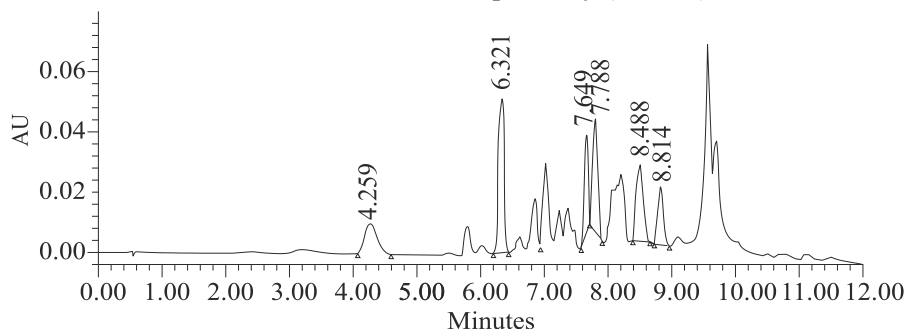


Рис. 1. Хроматограма вихідного етанольного концентрату (PDA 335.0 nm)

*Таблиця 1. Кількісне співвідношення сполук (PDA 335.0 nm)*

№	Об'єм зразка	Тривалість утримання, хв	Масова частка від суми, %
1	0,50	6,148	0,77
2	0,50	6,579	7,58
3	0,50	6,855	8,79
4	0,50	7,019	72,82
5	0,50	7,772	3,23
6	0,50	7,916	1,87
7	0,50	8,485	2,94
8	0,50	9,593	2,00

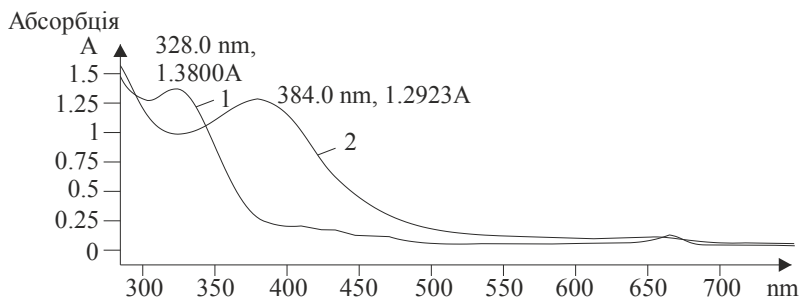
Після проведення кислотного гідролізу наважки сировини, тривалість утримання компонентів гідролізату відрізнялась від вихідного етанольного концентрату (рис. 2). На хроматограмі були ідентифіковані фенолкарбонові кислоти (4,26; 8,81 хв) та флавоноїди (6,32; 7,65; 7,79 і 8,49 хв). Визначено кількісне співвідношення компонентів гідролізату (табл. 2).



**Рис. 2. Хроматограма кислотного гідролізату (PDA 350.0 nm)**

*Таблиця 2. Масова частка компонентів гідролізату (PDA 350.0 nm)*

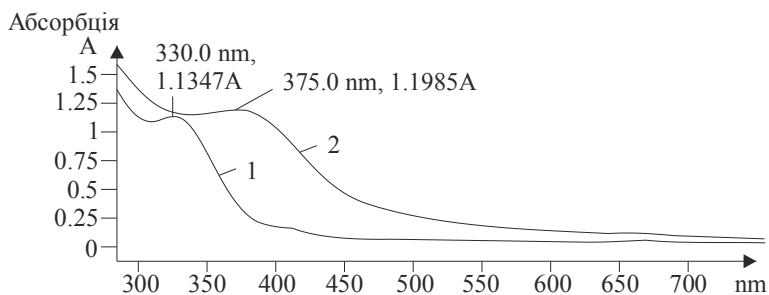
№	Об'єм зразка	Тривалість утримання, хв	Масова частка від суми, %
1	1,00	4,259	12,56
2	1,00	6,321	25,71
3	1,00	7,649	13,26
4	1,00	7,788	19,49
5	1,00	8,488	17,83
6	1,00	8,814	11,14



**Рис. 3. Спектри поглинання вихідного етанольного концентрату (1 — pH = 6,5; 2 — pH = 11,8)**

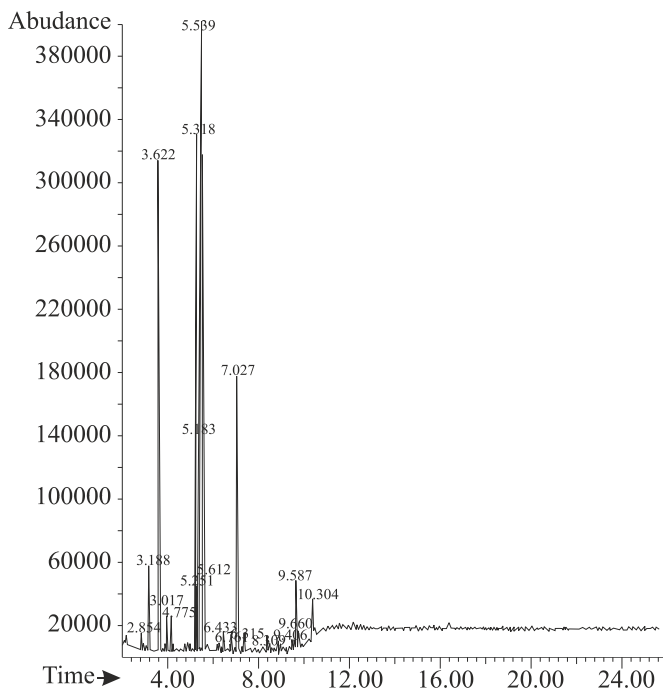
Аналіз спектрів (рис. 3) поглинання етанольного концентрату свідчить про наявність у ньому великої кількості сполук, що містять рухливий атом водню. Збільшення рН розчину (крива 2) обумовлює значне зміщення максимуму поглинання з 328 до 384 nm.

Після кислотного гідролізу в спектрах поглинання також відбувалося зміщення максимуму (рис. 4). Однак, на відміну від вихідного зразка, в даному випадку відсутня точка перетину кривих, що вказує на руйнування деяких сполук при підвищенні рН розчину.



**Рис. 4.** Спектри поглинання кислотного гідролізату (1 — рН = 6,5; 2 — рН = 11,8)

Аналіз результатів мас-хроматограми вихідного зразка дав змогу ідентифікувати такі сполуки (рис. 5): альфа-гуйон, вініламілкарбінол, о-кумол, альфа-терпінолін, метиловий ефір тиміну, карвакрол, тимол, d-гермакрин, амідолейнова кислота, третбутилкатехол.



**Рис. 5.** Мас-хроматограма вихідного етанольного концентрату

Після кислотного гідролізу низка летких сполук не була виявлена (рис. 6), але з'явилися сполуки, які були зв'язані гідроксилвмісними сполуками (флавоноїди, фенолкарбонові кислоти), насамперед етиловий ефір левулінової кислоти, етилпальмітат, тимол (табл. 3).

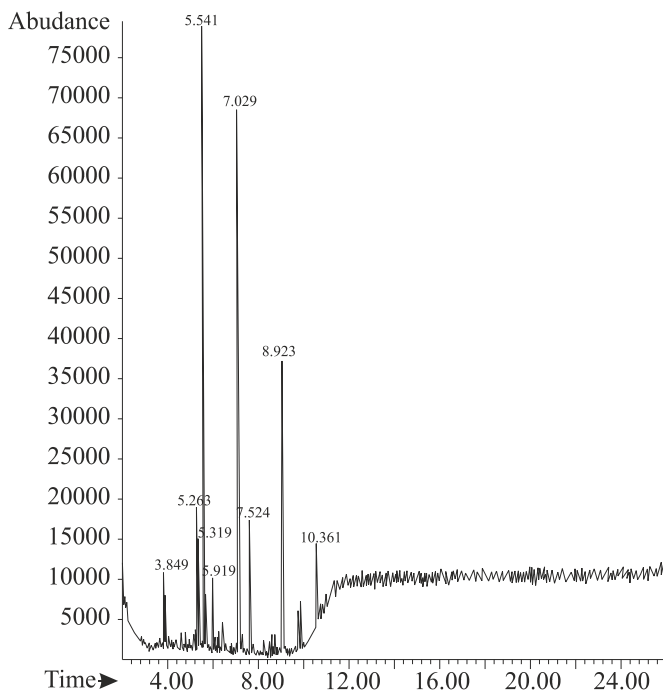
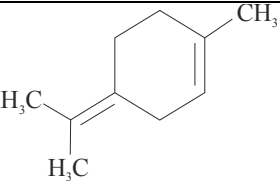
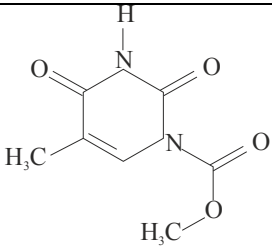
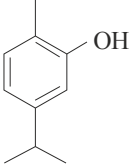
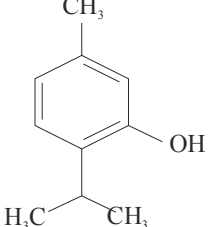
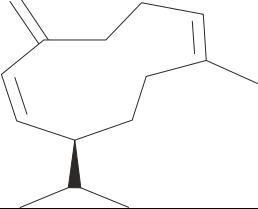
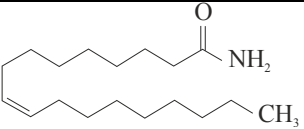
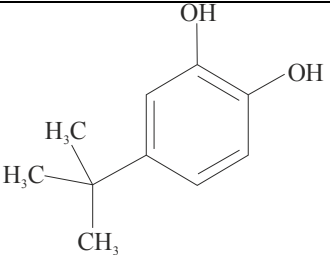


Рис. 6. Мас-хроматограма кислотного гідролізату

Таблиця 3. Сполуки, виявлені в екстракті листя монарди методом мас-хроматографії

№	Назва сполуки	Хімічна формула	Структурна формула	Властивості
1	2	3	4	5
1	Альфа-туйон	$C_{10}H_{16}O$		Ароматична речовина, з характерним запахом, що нагадує ментол. Є однією із двох стереоізомерних форм туйону.
2	о-кумол	$C_6H_5CH(CH_3)_2$		Органічна сполука ряду ароматичних вуглеводнів.

1	2	3	4	5
3	Альфа-терпінолін	$C_{10}H_{16}$		Ароматична речовина, що має солодкуватий хвойний аромат та антисептичну дію.
4	Метилловий ефір тиміну	$C_5H_6N_2O_2$		Входить до складу дезоксинуклеїнової кислоти (ДНК).
5	Карвакрол	$C_{10}H_{14}O$		Мас бактерицидні і інсектицидні властивості: уповільнює розвиток бактерій, таких як <i>Escherichia coli</i> або <i>Bacillus cereus</i> .
6	Тимол	$C_{10}H_{14}O$		Ізомер карвакролу з ароматом ментолу. Мас сильні антимікробні властивості, застосовують як антисептичний засіб та як консервант.
7	d-гермакрин	$C_{15}H_{24}$		Мас антимікробні та інсектицидні властивості.
8	Амідолеїнова кислота	$C_{18}H_{35}NO$		Амідолеїнової кислоти.
9	Третбутилкатехол	$C_{10}H_{14}O_2$		Мас антиоксидантні властивості.

10	Етиловий ефір левулінової кислоти	$C_7H_{13}O_3$	<chem>CCCC(=O)OCC</chem>	Ефір левулінової кислоти, є консервантом, має антисептичні властивості.
11	Етилпальмітат	$C_{18}H_{36}O_2$	<chem>CCCCCCCCCCCCCCCC(=O)OCC</chem>	Етиловий ефір пальмітинової кислоти.

Кількість ідентифікованих сполук суттєво зросла після TMS дериватизації (рис. 7). Після TMS дериватизації встановили наявність у зразку бета-гідроксимасяної кислоти, гліцерину, еритритолу, 1-проліну, третбутилгідрокінону, ксилітолу, арабітолу. Виявлено значну кількість вуглеводів: арабінофуранозу, фруктозу, d-глюкозу, цукрозу, d-манітол, альфа-1-галактофуранозу, арабінозу. Знайдено фенолкарбовону кислоту (кавову), а також низку жирних кислот: пальмітинової, альфа-ліноленової, стеаринової, ейкозаної, лауринової.

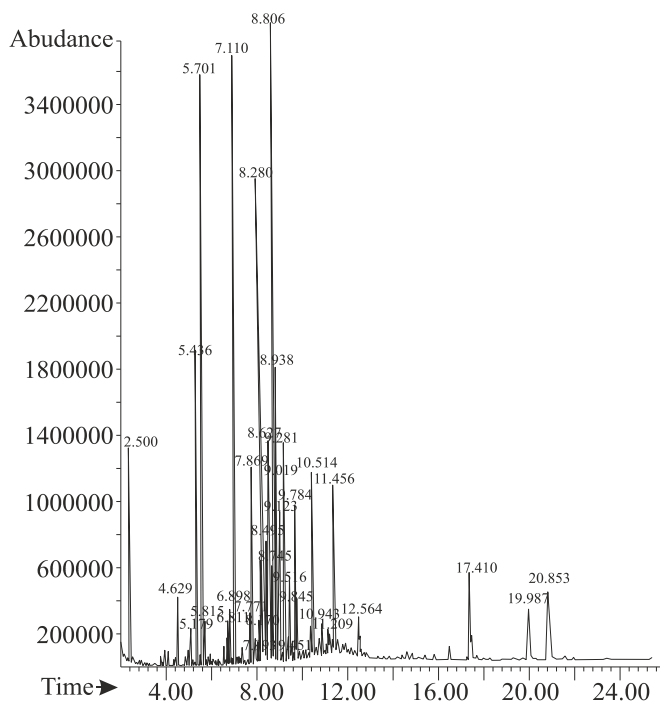


Рис. 7. Мас-хроматограма TMS дериватів вихідного етанольного концентрату

У складі TMS дериватів після кислотного гідролізу (рис. 8) ідентифіковано: бета-гідроксимасяну кислоту, метиловий ефір орнітину, тимол, третбутилгідрокінон, етиловий ефір лимонної кислоти, 3-(3,4-дигідроксифеніл)лактонову кислоту, ефір катехолактату, кавову кислоту. Третбутилгідрокінон застосовується як антиокислювач, належить до групи фенольних антиоксидантів, зупиняє процес окислення на ранніх стадіях. Кавова кислота є

ненасиченою карбоною кислотою, яка має імуномодулюючу, протизапальну та антиоксидантну активність.

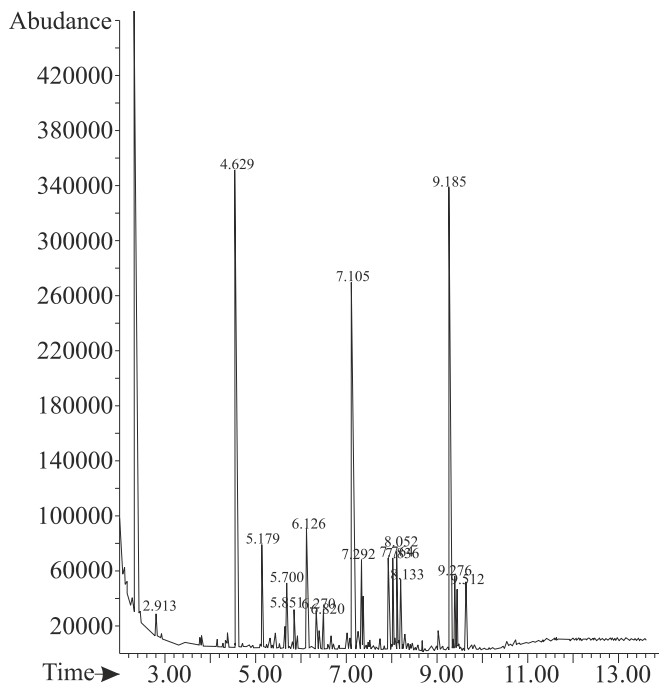


Рис. 8. Мас-хроматограма TMS дериватів кислотного гідролізату

### Висновки

У результаті досліджень хімічного складу фенольних сполук, які містяться у листі монарди двійчастої (*Monarda didyma*), методами ультрашвидкісної вискоелективної рідинної хроматографії, спектроскопії, газової хроматографії з мас-селективним детектуванням ідентифіковані фенольні сполуки, проаналізований їх хімічний склад.

Доведено високий антиоксидантний потенціал сировини завдяки наявності фенолкарбонових кислот, зокрема кавової, флавоноїдів, третбутилкатехолу, третбутилгідрохінону та її потенційні бактерицидні властивості завдяки вмісту тимолу, карвакролу, d-гермакрину, альфа-терпіноліну. Встановлено склад ароматичних речовин та інших складових монарди двійчастої.

За результатами досліджень рекомендовано використання пряно-ароматичної рослинної сировини у технологіях борошняних кондитерських виробів як ефективного природного антиоксиданта, консерванта, ароматизатора.

### Література

1. *Кораблева О.А.* Монарда в декоративном садоводстве / О.А. Кораблева, М.В. Рысь // Биологический вестник. — Харьков. — 2006. — Т. 10. — № 2. — С. 6—8.
2. *Свиденко Л.* Інтродукція *Monarda fistulosa* L. в Херсонській області / Л. Свиденко // Вісник Львів. ун-ту. — 2004. — № 36. — С. 319—324.



3. Работягов В.Д. Интродукция и селекция эфирномасличных растений в Никитском ботаническом саду / В.Д. Работягов, Л.А. Хлыпенко, В.И. Машанов и др. // Бюлетень ГБС. — Москва : Наука. — 2003. — Вып. 186. — С. 10—14.

4. Mazza G. Monarda: A source of geraniol, linalool, thymol and carvacrol-rich essential oils / G. Mazza, F. Kiehn, H. Marshall // In: J. Janick and J. Simon (eds.), *New crops*. Wiley. — New York. — 1993. — P. 628—631.

5. Singhurst J.R. *Monarda luteola* (Lamiaceae): a new species from Northeast Texas and Southwest Arkansas / J.R. Singhurst // *Phytoneuron*. — 2011. — № 41. — С. 1—5.

6. Floden A. A new beebalm *Monarda austroappalachiana* (Lamiaceae L.) from the Southern Appalachians / A. Floden // *Phytoneuron*. — 2015. — # 28. — С. 3—12.

7. Савицкене Н. *Monarda didyma* — лекарственное и декоративное растение. Актуальные проблемы инноваций с нетрадиционными растительными ресурсами и создания функциональных продуктов / Н. Савицкене // Матер. 1-й Российской научно-прак. конф. — Москва, 2001. — С. 249—250.

8. Корчашкина Н.В. Содержание эфирного масла в сырье *Monarda didyma* L., *Monarda fistulosa* L. и *Monarda media* L. в условиях Московской области / Н.В. Корчашкина, Е.Л. Маланкина // Матер. междунар. научно-прак. конф. посвященной 10-летию образования Ботанического сада Белгородского государственного университета. «Ботанические сады в 21 веке: сохранение биоразнообразия, стратегия развития и инновационные решения». — Белгород. — 2009. — С. 443—444.

9. Перспективы выращивания монарды лимонной в качестве лекарственного и эфирномасличного растения в условиях Московской области / Е.Л. Маланкина, Н.В. Корчашкина, А.А. Терехин и др. // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты переработки нетрадиционных культур. Сборник научных трудов. — Москва, 2003. — Вып. 7. — С. 233—238.

10. Рысь М.В. Морфологическая характеристика новых сортообразцов монарды / М.В. Рысь // Матер. симпозиума «Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования». — Москва, 2007. — С. 249—251.

11. Flavonoidų analizė raudonosios monardos (*Monarda didyma* L.) žieduose ir lapuose / Savickienė N., Dagilytė A., Barsteigienė Z. ir kt. // *MEDICINA*. — 2002. — Т. 38. — #. 11. — P. 1119—1122.

12. Zhan-guo L. Chemical Composition of Antibacterial Activity of Essential Oil from *Monarda citriodora* Flowers / L. Zhan-guo, L. Xiu-hui, L. Wei // *Advanced Materials Research*. — 2011. — Vol. 183—185. — P. 920—924.

13. Bioassay-Guided Investigation of Two *Monarda* Essential Oils as Repellents of Yellow Fever Mosquito *Aedes aegypti* / Tabanca N., Bernier U., Ali A. et al. // *Agricultural and Food chemistry*. — 2013. — # 61. — P. 8573—8580.

## INFLUENCE OF IMPROVERS ON BIOCHEMICAL PROCESSES IN THE DOUGH WITH WHEAT BRAN AND DRY WHEY

O. Bortnichuk, V. Dotsenko, V. Tsirulnikova

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Lecithin  
Dry whey  
Wheat bran  
Hydrolysis  
Bakery products*

**Article history:**

Received 13.11.2017  
Received in revised form  
04.12.2017  
Accepted 26.12.2017

**Corresponding author:**

O. Bortnichuk

**E-mail:**

npuht@ukr.net

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-18

---

**ABSTRACT**

The article describes the effect of lecithin and enzymatic modification of lactose on biochemical processes in dough with wheat bran and dry whey. Changes in qualitative and quantitative characteristics of baker's yeast were shown. Regularities of sugar formation in the dough at the beginning and after 180 minutes of fermentation with the use of selected raw materials and improvers were established. The influence of dry milk whey, wheat bran, lecithin and enzymatic modification of lactose on the parameters of active and titrated acidity in the dough was studied. The efficiency of using lecithin and  $\beta$ -galactosidase enzyme for bakery products with the use of milk whey and wheat bran was proved.

## ВПЛИВ ПОЛІПШУВАЧІВ НА БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТІСТІ З ПШЕНИЧНИМИ ВИСІВКАМИ І СУХОЮ МОЛОЧНОЮ СИРОВАТКОЮ

О.В. Бортнічук, В.Ф. Доценко, В.В. Цирульнікова

Національний університет харчових технологій

*У статті описано вплив лецитину та ферментативної модифікації лактози на біохімічні процеси в тісті з пшеничними висівками й сухою молочною сироваткою. Показано зміни в якісних і кількісних характеристиках хлібопекарських дріжджів, встановлено закономірності цукроутворення в тісті на початку та за 180 хв його бродіння при сумісному використанні обраної сировини й поліпшувачів. Досліджено вплив сухої молочної сироватки, пшеничних висівків, лецитину та ферментативної модифікації лактози на показники активної й титрованої кислотності в тісті. Доведено ефективність використання лецитину та ферменту  $\beta$ -галактозидази для приготування хлібобулочних виробів із використанням молочної сироватки й пшеничних висівків.*

**Ключові слова:** лецитин, суха молочна сироватка, пшеничні висівки, гідроліз, хлібобулочні вироби.

**Постановка проблеми.** Хлібобулочні вироби, зазвичай, виготовляються із борошна вищих сортів, тому вони мають досить високу енергетичну цінність, адже борошно на 70% складається з вуглеводів, які легко засвоюються. Білкові речовини хліба складають лише 6,5...11%. Вони представлені, власне, білками, а також продуктами їх гідролізу — пептидами, поліпептидами, амідами та амінокислотами, серед яких наявні всі вісім незамінних. Проте кількість триптофану, лізину та метіоніну досить низька і є визначальною в оцінці біологічної цінності хліба [5].

Також важлива функціональна дія продуктів на основі борошна залежить від вмісту в ньому розчинних і нерозчинних харчових волокон, які сприяють зниженню ризику серцево-судинних захворювань, зменшують рівень холестерину та стабілізують травні функції організму, запобігаючи захворюванням шлунково-кишкового тракту [1].

Функціональні властивості хлібобулочних виробів можуть бути підвищені за рахунок додаткового внесення в їх рецептуру сировини, багаті на харчові волокна та білок з високим вмістом амінокислот триптофану, лізину, метіоніну, що є лімітуючими в даних продуктах [6; 8; 9].

Провідними науковцями було показано позитивну тенденцію при окремому використанні в технології хлібобулочних виробів вторинних продуктів переробки харчової промисловості, таких як суха молочна сироватка (СМС) та пшеничні висівки (ПВ). Проте у вітчизняній і зарубіжній літературі не зустрічається даних про перспективи сумісного використання ПВ та СМС у рецептурі виробів із пшеничного борошна з метою покращення їх функціональних властивостей.

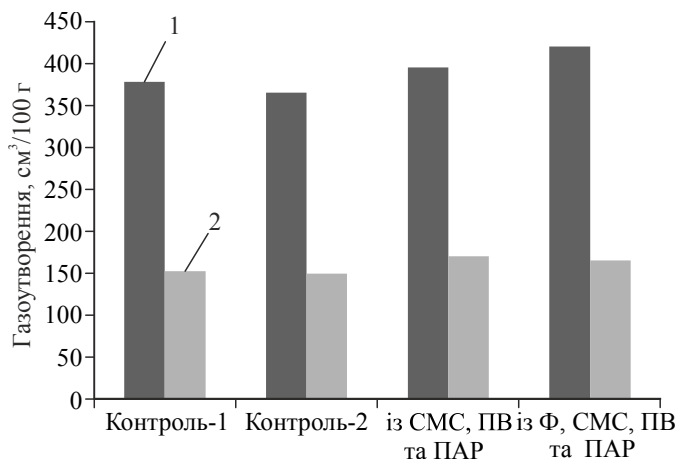
Нами в попередніх дослідженнях визначено оптимальне дозування сухої молочної сироватки та пшеничних висівків — відповідно 5% та 10% до маси борошна. Доведено позитивний вплив лецитину та ферментативної модифікації лактози на якість готових виробів з обраною сировиною [2—4].

**Метою дослідження** є встановлення закономірностей і сутності біохімічних і мікробіологічних процесів, що відбуваються в тісті з обраною сировиною та поліпшувачами.

**Матеріали і методи.** Газоутворення досліджували волюмометричним методом на приладі АГ-1М. Активність молочнокислих бактерій, мальтазну та зимазну активності, бродильну активність, осмочутливість і підйомну силу дріжджів, динаміку активної й титрованої кислотності визначали за методиками, наведеними в лабораторному практикумі [7]. Вміст цукрів проводили йодометричним методом. Визначення накопичення дріжджів у тісті протягом 4 год його дозрівання проводили підрахунком мікроорганізмів у камері Горяєва. Тісто готували традиційним безопарним способом, що включає підготовку та дозування сировини, замішування дріжджового тіста, його бродіння, розподіл, формування, вистоювання тістових заготовок та їх випікання. Замішування тіста здійснювали в лабораторній тістомісильній машині протягом 9...11 хв. Тривалість бродіння тіста становила 160 хв при температурі  $30 \pm 2^\circ \text{C}$ . Вироби формували вручну, вистоювали тістові заготовки до готовності при температурі  $30...32^\circ \text{C}$  і відносній вологості 75...80%. Випікали хліб формовий у пекарській шафі UNOX при  $t = 200...220^\circ \text{C}$ .

Контрольним був зразок, до складу якого входило пшеничне борошно першого сорту без добавок — контроль-1, та зразок із пшеничними висівками у кількості 10% та сухою молочною сироваткою 5% до маси борошна — контроль-2.

**Викладення основних результатів дослідження.** Основний показник, що характеризує інтенсивність спиртового бродіння — кількість виділеного діоксиду вуглецю під час бродіння тіста. Внесення в тісто досліджуваної сировини впливає на рівень його газоутворювальної здатності, яка відображає активність дріжджових клітин і забезпеченість їх живленням.



**Рис. 1. Вплив досліджуваної сировини та поліпшувачів на інтенсивність газоутворення в тісті при: 1 — бродінні; 2 — вистоюванні**

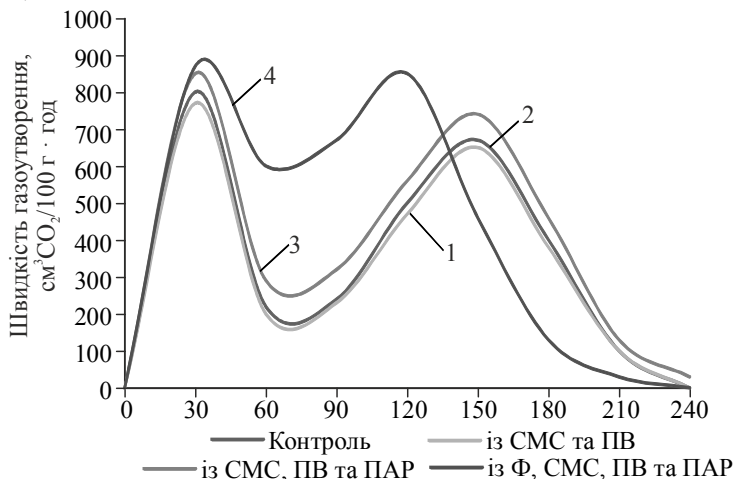
Встановлено (рис. 1), що сумісне внесення пшеничних висівок і сухої молочної сироватки спричиняє зниження інтенсивності виділення вуглекислого газу дріжджовою мікрофлорою на 3,0%. Водночас внесення до досліджуваної сировини поверхнево-активної речовини може сприяти підвищенню газоутворення в тісті. Показник виділення діоксиду вуглецю при використанні емульгатора лецитину перевищує показники газоутворення контрольного зразка без добавок на 6,6%, зразка з ПВ і СМС — на 9,9%.

Очевидно, це пов'язано з дією фосфоліпідної складової ПААР, яка сприяє більш ефективному доступу продуктів живлення до дріжджової клітини. Це є важливим фактором на етапі приготування тіста.

Встановлено, що при застосуванні ферментативної модифікації лактози в тісті також спостерігається підвищення газоутворення. Така тенденція, очевидно, спричинена накопиченням простих цукрів, що утворюються в процесі гідролізу лактози, які використовуються як ефективне джерело живлення бродильною мікрофлорою.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що використання поверхнево-активної речовини та β-галактозидази сумісно з харчовими волокнами й молочним продуктом дає змогу інтенсифікувати спиртове бродіння в тісті порівняно з контрольним зразком без добавок на 10,4%.

Для визначення впливу поліпшувачів на біотехнологічні властивостей дріжджової мікрофлори досліджено швидкість утворення діоксиду вуглецю в тісті (рис. 2).



**Рис. 2. Кінетика утворення діоксиду вуглецю в зразках тіста:**

1 — контроль-1 (без добавок); 2 — контроль-2 (із СМС та ПВ); 3 — із СМС, ПВ та ПАР; 4 — із СМС, ПВ, ПАР та Ф

Як видно з рис. 2, спостерігається стійка тенденція більш інтенсивного виділення діоксиду вуглецю у зразках тіста з використанням ПАР порівняно з контрольними зразками. Отримані дані дають змогу стверджувати, що внесення лецитину до рецептури покращує кінетику накопичення діоксиду вуглецю.

Внесення  $\beta$ -галактозидази безпосередньо в тісто також сприяє прискоренню утворення вуглекислого газу в тісті. При цьому другий пік швидкості газоутворення припадає на 110...120 хв бродіння, що дає змогу спрогнозувати скорочення технологічного процесу виробництва на 30...40 хв.

Для чіткого розуміння зміни динаміки виділення діоксиду вуглецю в тісті було досліджено вплив кожного із компонентів на життєдіяльність дріжджів.

Бродильну активність дріжджів визначали за підйомною силою, зимазною і мальтазною активністю.

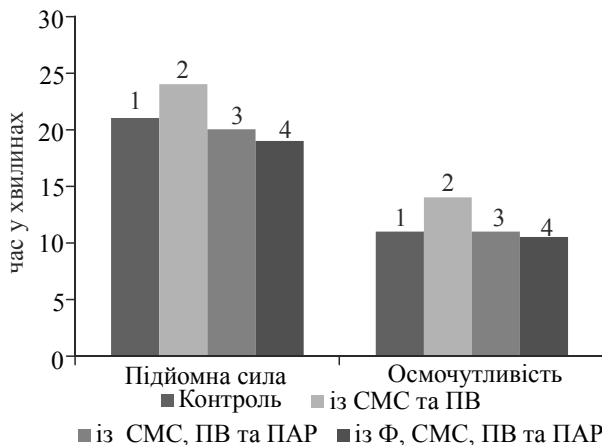
З рис. 3 видно, що сумісне внесення ПВ і СМС у тісто негативно впливає на підйомну силу дріжджової мікрофлори. Бродильна активність дріжджів зменшується на 14,3%.

Проте використання емульгатора у вказаній кількості дає змогу покращити цей показник, наблизити його до контрольного зразка. Ферментативна модифікація лактози разом з ПАР справляє позитивний вплив на підйомну силу дріжджів — вона покращується на 9,6% порівняно із контролем без добавок.

Очевидно при додаванні молочної сироватки та пшеничних висівок відбувається зміна осмотичного тиску в системі, що негативно впливає на інтенсивність ферментних систем мікроорганізмів.

Здатність дріжджів зберігати ферментативну активність за наявності речовин, що підвищують осмотичний тиск, характеризується показником їх осмочутливості.

У наших досліджах осмочутливість визначали за підйомною силою дріжджів у тісті без солі і зі збільшеним вмістом солі як сировини, що створює підвищений осмотичний тиск.

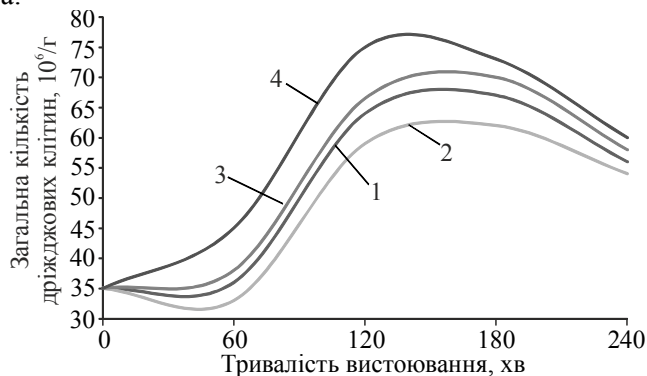


**Рис. 3. Вплив досліджуваної сировини і поліпшувачів на підйомну силу та осмочутливість дріжджів:** 1 — контроль-1 (без добавок); 2 — контроль-2 (із СМС та ПВ); 3 — із СМС, ПВ та ПАР; 4 — із СМС, ПВ, ПАР та Ф

Як видно з даних (рис. 3), осмочутливість дріжджів при внесенні СМС та ПВ зменшується на 27,3% порівняно з контролем. Внесення емульгатора, як і при дослідженні підйомної сили дріжджів, дає змогу урівноважити розподіл енергії у системі та наблизити показник осмочутливості дріжджової клітини до показників контролю без добавок.

Для об'єктивної оцінки технологічних аспектів і встановлення особливостей впливу компонентів композиції на дріжджову мікрофлору також проводили визначення накопичення дріжджових клітин у процесі бродіння, зимазну та мальтазну активності дріжджів для досліджуваних зразків.

Для визначення кількості накопичення дріжджової мікрофлори готували безопарне тісто вологістю 44%. Пресовані дріжджі вносили в кількості 3% до маси борошна.

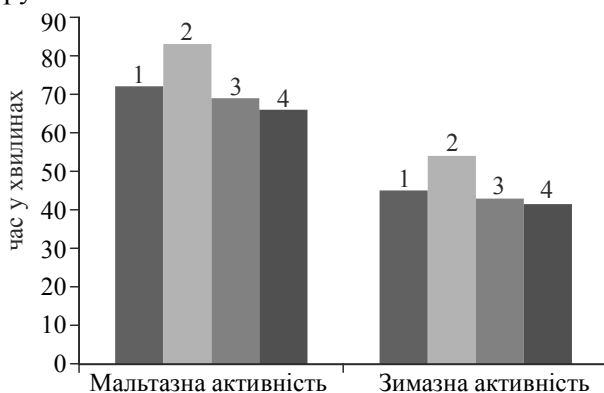


**Рис. 4. Накопичення дріжджових клітин у тісті в процесі 4 год бродіння:** 1 — контроль-1 (без добавок); 2 — контроль-2 (із СМС та ПВ); 3 — із СМС, ПВ та ПАР; 4 — із СМС, ПВ, ПАР та Ф

Результати дослідження свідчать про те (рис. 4), що сумісне внесення ПВ і СМС (контроль-2) гальмує приріст дріжджової мікрофлори. На всіх етапах відбору проб показник приросту був менший, ніж для контролю без добавок. Використання лецитину позитивно впливає на динаміку накопичення бродильної мікрофлори і вона знаходиться на рівні дещо вищому, ніж контроль, що корелює з результатами попередніх досліджень.

Встановлено, що проведення гідролізу лактози СМС при бродінні тіста інтенсифікує накопичення дріжджових клітин в ньому. Слід відмітити, що згідно з даними, наведеними на рис. 4, максимальна кількість накопичення КУО бродильної мікрофлори для зразка з  $\beta$ -галактозидазою, СМС, ПВ та ПАР спостерігається на 120...130 хв бродіння, а для зразка без використання ферменту найбільша кількість КУО дріжджів спостерігається дещо пізніше — на 150...160 хв.

Таким чином, результати, отримані при дослідженні динаміки накопичення дріжджової мікрофлори, корелюють з результатами попередніх досліджень, підтверджують ефективність застосування лецитину як поліпшувача та можливість скорочення технологічного процесу при застосуванні гідролізу молочного цукру в тісті з СМС.



**Рис. 5.** Вплив досліджуваної сировини на мальтазну та зимазну активності дріжджів: 1 — контроль-1 (без добавок); 2 — контроль-2 (із СМС та ПВ); 3 — із СМС, ПВ та ПАР; 4 — із СМС, ПВ, ПАР та Ф

Зазвичай, на показники газоутворення, підйомної сили та накопичення дріжджових клітин впливає здатність дріжджів ефективно асимілювати продукти живлення. Тому було реалізовано модельний дослід, в якому до розчину цукрів (мальтози та глюкози) додавали СМС і ПВ, СМС, ПВ і ПАР, а також СМС ПВ, ПАР та  $\beta$ -галактозидазу у кількостях, що забезпечують реальне співвідношення дріжджів і цих компонентів у рецептурі виробу.

Традиційно вважається, що хороші дріжджі повинні мати зимазну активність до 70 хв, а мальтазну — до 110 хв.

У дослідженнях найкращу зимазну активність 43...45 хв мали дріжджі у зразку з гідролізом лактози, СМС, ПВ і лецитином, найгірший результат активності зимазного комплексу 54...56 хв був зафіксований для мікрофлори зразку з молочним продуктом і пшеничними висівками. Зразок з ПАР, СМС та ПВ показав результати, наближені до контролю. Із отриманих даних можна зробити висновок про те, що використання поліпшувача буде сприяти

інтенсифікації життєдіяльності дріжджів одразу після замісу тіста, а застосування гідролізу лактози тільки підсилює даний ефект.

Індуктивний період утворення мальтази у різних дріжджів різний і за даними І.К. Єлецького складає приблизно 90—120 хв [8]. Мальтазна активність має особливо важливе значення для опарного і безопарного способів приготування тіста, загальна тривалість дозрівання яких складає 220—360 хв.

Із рис. 5 видно, що сумісне внесення в тісто сухої молочної сироватки та пшеничних висівок (контроль-2) призводить до погіршення мальтазної активності дріжджів. Порівняно з контролем активність ферментного комплексу знижується на 15,3%. Проте залучення поліпшувача, як і при визначенні зимазної активності, дає змогу покращити інтенсивність зброджування мальтози і глюкози до показників контрольного зразка.

Даний факт, очевидно, пояснюється покращенням доступності цукрів до дріжджової клітини за рахунок дії ПАР на оболонку та цитоплазматичну мембрану дріжджової клітини і накопиченням простих цукрів при застосуванні гідролізу лактози. Таким чином, спостерігається інтенсивніше виділення діоксиду вуглецю в тісті з сухою молочною сироваткою, пшеничними висівками і ПАР.

Для більш чіткої картини впливу обраної сировини та поліпшувачів на мікрофлору тіста було досліджено активність молочнокислих бактерій у зразках (табл. 1).

*Таблиця 1. Вплив сировини і поліпшувачів на активність молочнокислих бактерій*

Показник	Значення показника в зразках			
	Контроль-1 (без добавок)	Контроль-2 (із СМС та ПВ)	із СМС, ПВ та ПАР	із Ф, СМС, ПВ та ПАР
Тривалість знебарвлення метиленової сині, хв	205±2	217±2	206±2	198±2

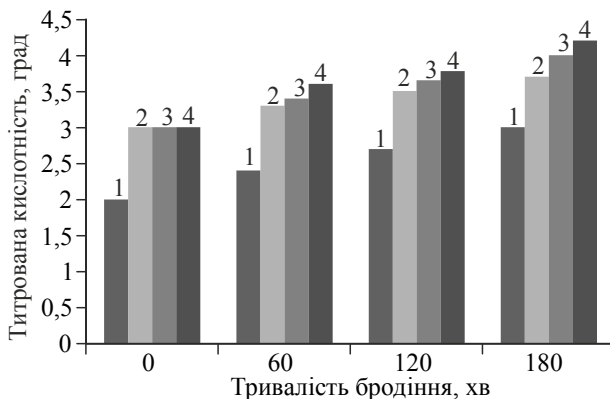
Життєдіяльність молочнокислих бактерій має аналогічну закономірність зі зміною активності сахароміцетів. Як видно з табл. 1, тривалість знебарвлення метиленової сині для зразка із сухою молочною сироваткою та пшеничними висівками (контроль-2) є вищою, ніж для зразка із лецитином і ферментом на 9,6%, що свідчить про підвищення активності молочнокислих бактерій при додаванні поліпшувачів.

Отже, за результатами досліджень можна констатувати, що за наявності лецитину інтенсифікується асиміляція поживних речовин молочнокислими бактеріями на 5,3%, проведення гідролізу лактози СМС в тісті додатково сприяє активізації молочнокислих бактерій за рахунок утворення простих цукрів, які легко засвоюються мікроорганізмами, внаслідок чого відбувається більш інтенсивне виділення продуктів життєдіяльності — органічних кислот, вуглекислого газу, які забезпечують спрямованість і повноту колоїдних, фізичних та біохімічних процесів у тістових напівфабрикатах, що в сукупності і характеризує ступінь їх готовності.

Інтенсивність бродіння залежить передусім від активності дріжджової клітини, наявності живлення для неї, а також від параметрів технологічного процесу: температури, вологості та рН тіста.



Кислотність має вирішальне технологічне значення, оскільки за певної кислотності напівфабрикатів відбуваються процеси пептизації і набухання білкових речовин, активізуються ферменти борошна, дріжджів, накопичуються кислотореагуючі сполуки, що формують необхідні реологічні, органолептичні властивості і фізико-хімічні показники якості готових виробів. Тому метою подальших досліджень було визначення динаміки титрованої й активної кислотностей тіста для зразків з поліпшувачем і без нього.



**Рис. 6. Динаміка титрованої кислотності тіста в процесі бродіння:**

1 — контроль-1 (без добавок); 2 — контроль-2 (із СМС та ПВ); 3 — із СМС, ПВ та ПАР; 4 — із СМС, ПВ, ПАР та Ф

Отримані результати (рис. 6) свідчать, що внесення в тісто пшеничних висівок і сухої молочної сироватки призводить до підвищення початкової кислотності тіста на 0,4 град, що пояснюється власною кислотністю молочного продукту. Додавання лецитину та ферменту до рецептури не впливає на титровану кислотність. Під час бродіння кислотність тіста для всіх зразків підвищується.

Слід відмітити, що при бродінні рівень активної кислотності залишається в оптимальних межах для бродильної мікрофлори. При тривалості бродіння 170...180 хв ферментативна модифікація лактози може уповільнюватись, адже значення рН дещо нижче п'яти (рис. 7), що є незначним відхиленням від оптимального рН для дії  $\beta$ -галактозидази.

Дослідження динаміки активної кислотності тіста показали, що внесення ПАР і ферментативна модифікація лактози позитивно впливають на підвищення рівня титрованої кислотності в процесі його бродіння на 1,2 град. Така тенденція очевидно зумовлена здатністю поліпшувача та ферментного препарату позитивно впливати на розвиток мікрофлори в тісті (рис. 1—5, табл. 1), сприяти інтенсивнішому споживанню поживних речовин з утворенням продуктів їх розпаду.

Для пояснення впливу ПАР на вуглеводно-амілазний комплекс і дослідження ефективності процесу ферментативного гідролізу молочної сироватки вивчали динаміку цукроутворювальної здатності в тісті з досліджуваною сировиною.

Як зразки для дослідження обрано тісто, до рецептури якого не внесено дріжджі хлібопекарські пресовані з метою запобігання впливу їх ферментів на процес амілолізу, а також тісто з додаванням 3% дріжджів. Умови експерименту такі: температура  $(30 \pm 2)^\circ \text{C}$ , тривалість вистоювання 3 год. Накопичення цукрів визначали за різницею між вмістом одразу після замісу і після відведеного часу для ферментативних перетворень за йодометричним методом Шорля. Для визначення балансу цукрів готували чотири зразки тіста контроль-1 (без добавок) і з внесенням досліджуваних компонентів до маси борошна контроль-2 (із сумісним внесенням 5% СМС та 10% ПВ); 3—5% СМС, 10% ПВ та 0,7% ПАР; 4—5% СМС, 10% ПВ, 0,7% ПАР та внесення в тісто ферменту  $\beta$ -галактозидази.

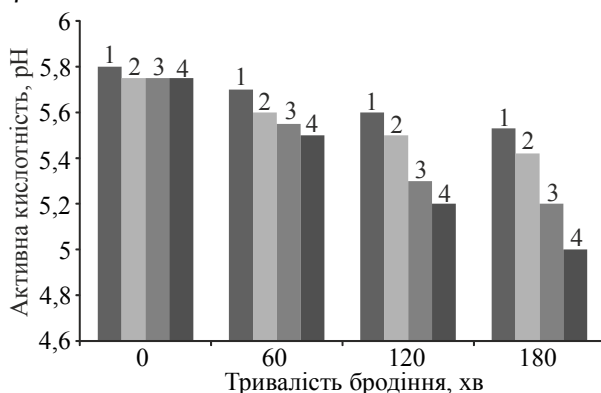


Рис. 7. Динаміка активної кислотності зразків тіста в процесі бродіння:

1 — контроль-1 (без добавок); 2 — контроль-2 (із СМС та ПВ); 3 — із СМС, ПВ та ПАР; 4 — із СМС, ПВ, ПАР та Ф

З табл. 2 видно, що в тісті з додаванням досліджуваних сировини (як за наявності дріжджів, так і без них) вміст цукрів одразу після замісу вищий, ніж у контролі без добавок, на 43,6...45,5% відповідно. Дана тенденція зумовлена внесенням у тісто додаткової кількості редукуючих цукрів разом із молочною сироваткою.

Таблиця 2. Динаміка цукроутворення в тісті з досліджуваною сировиною і полішувачами (масова частка мальтози, % на СР)

Час відбору проб, год	Контроль-1 (без добавок)	Контроль-2 (із СМС та ПВ)	Тісто з борошна пшеничного 1-го сорту з додаванням	
			СМС, ПВ та ПАР	Ф, СМС, ПВ та ПАР
Бездрижджове тісто				
0	2,02±0,02	2,92±0,03	2,9±0,03	2,94±0,03
3	3,64±0,03	4,75±0,05	4,71±0,05	6,79±0,07
Накопичено	1,62±0,02	1,83±0,02	1,81±0,02	3,85±0,04
Дрижджове тісто				
0	2,02±0,02	2,92±0,03	2,9±0,03	2,94±0,03
3	1,37±0,01	2,72±0,03	1,97±0,02	3,81±0,04
Накопичено	—	—	—	0,67±0,01
Зброджено	2,27±0,02	2,03±0,02	2,76±0,03	3,08±0,03

Встановлено, що масова частка накопичених цукрів з молочною сироваткою та пшеничними висівками є вищою порівняно із контролем на 13%. Це пояснюється початково вищим вмістом вуглеводів у зразках із досліджуваною сировиною.

Слід відмітити, що внесення ПАР до системи дещо гальмує процес накопичення редукуючих цукрів у бездріжджовій системі.

Очевидно, зниження інтенсивності розщеплення крохмалю ферментами борошна за наявності ПАР можна пояснити меншою доступністю крохмалевого субстрату до дії ферментів за рахунок утворення комплексів емульгатор-крохмаль.

Дослідження показали, що гідроліз лактози забезпечує збільшення накопичення цукрів порівняно із системою без ферменту на 113%. Таким чином, підтверджується ефективність використання  $\beta$ -галактозидази для гідролізу молочного цукру в тісті.

Незважаючи на більше накопичення цукрів для зразка контроль-2, інтенсивність збродження знижується, що корелює з підйомною силою дріжджів у кількості виділеного вуглекислого газу.

Надалі буде досліджено вплив обраної сировини та поліпшувачів на структурно-механічні властивості тіста, фракційний склад білка, а також визначено споживчі та фізіологічні показники готових хлібобулочних виробів.

### Висновки

Проведеними дослідженнями встановлено зміни в перебігу основних біохімічних і мікробіологічних процесів при додаванні обраної сировини та поліпшувачів:

1. При сумісному внесенні СМС і ПВ у тісто в ньому знижується газоутворення на 3,0% порівняно зі зразком без добавок. Використання лецитину та ферментативна модифікація лактози при бродінні тіста дає змогу підвищити газоутворення рівень газоутворення.

2. Встановлено, що лецитин позитивно впливає на життєдіяльність дріжджових клітин у середовищі з СМС і ПВ. Покращуються їх підйомна сила та осмочутливість — на 16,7% та 21,4% відповідно. Застосування ПАР покращує динаміку накопичення дріжджових клітин. Одночасне використання гідролізу лактози й емульгатора дає змогу інтенсифікувати накопичення бродильної мікрофлори на 7,1% в точках екстремуму, покращити мальтазну та зимазну активності на 4,3% та 3,5% відповідно.

3. Визначено, що додавання лецитину та проведення ферментативної модифікації лактози не впливають на початкову активну й титровану кислотності тіста.

4. Встановлено, що із додаванням досліджуваної сировини вміст цукрів одразу після замісу вищий, ніж у контролі, на 43,6...45,5%. Ферментативна модифікація лактози призводить до збільшення накопичення цукрів порівняно із системою без ферменту на 113%. Використання лецитину приводить до підвищення масової частки зброджених цукрів у тісті на 20,5%.

### Література

1. Rimbach G., Boesch-Saadatmandi C., Frank J., Fuchs D., Wenzel U., Daniel H., Hall WL., Weinberg PD. Dietary isoflavones in the prevention of cardiovascular disease. — A molecular perspective Food Chem Toxicol. 2008;46:1308—1319.

2. *Бортнічук О.В.* Інноваційні підходи в технології хлібобулочних виробів з сухою молочною сироваткою / О.В. Бортнічук, А.В. Гавриш, О.В. Неміріч, В.Ф. Доценко // Харчова наука і технологія. — 2015. — № 2(31). — С. 97—102.
3. *Бортнічук О.В.* Вплив гідролізу лактози сухої молочної сироватки на інтенсивність бродіння тіста / О.В. Бортнічук, Н.О. Лець, А.В. Гавриш, О.В. Неміріч, В.Ф. Доценко // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. — 2015. — 06(127). — С. 3—6.
4. *Бортнічук О.В.* Використання пшеничних висівок у виробництві хлібобулочних виробів / О.В. Бортнічук, В.В. Цирульнікова, В.Ф. Доценко // *Sword*. — 2014. — № 3(36). — С. 15—21.
5. *Грек О.В.* Перспективы использования белков молочной сыворотки / О.В. Грек, А.В. Тимчук // Україна — Польща — ЄС: економіко-правові аспекти розвитку освіти і бізнесу : Зб. матеріалів міжнародного науково-практичного форуму. — Херсон : ПП Вишемирский В.С., 2013. — С. 42—47.
6. *Елецкий И.К.* Биотехнологические свойства полуфабрикатов при производстве хлебопекарных изделий. — Москва : МГУПП. 2007. — С. 21—31
7. Лабораторний практикум з технології хлібопекарного та макаронного виробництва : навч. посібник / В.І. Дробот, Л.Ю. Арсеньєва, О.А. Білик та ін. — К.: Центр навчальної літератури, 2006. — 341 с.
8. *Мусина О.Н.* Поликомпонентные продукты на основе комбинированного сыра / О.Н. Мусина, М.П. Щетинин. — Барнаул : АлтГУ. 2010. — 243 с.
9. *Храмцов А.Г.* Феномен молочной сыворотки [Текст] / А.Г. Храмцов. — Санкт-Петербург : Профессия, 2011. — 802 с.

## THE DEFINITION OF THE QUALITY INDICATORS OF ALBUMINE PASTE WITH POTATO CELLULOSE

O. Grek, O. Onopriichuk, A. Tymchuk, K. Ovsienko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Albumin paste with potato cellulose "Potex"  
Potato cellulose "Potex"  
Method of experimental-statistical modeling*

**Article history:**

Received 14.11.2017  
Received in revised form 30.11.2017  
Accepted 15.12.2017

**Corresponding author:**

O. Grek  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The possibility of forecasting of the quality indicators of albumin paste with dietary fiber concentrate — potato cellulose (PC) is substantiated during storage "Potex", as a regulator of moisture mass fraction. A composition of the mixture and the peculiarities of preparation of potato cellulose «Potex» are given for the effective introduction into albumin mass. Quality indicators of paste sample were determined during 3 days of storage in laboratory conditions using commonly used research methods. We applied a method of experimental-statistical modeling using the program STATISTICA for the mathematical description of the changes of water-retaining capacity, active acidity (pH) and moisture mass fraction of the albumin paste with PC. The obtained mathematical models can be used for prediction of changes of the parameters of albumin paste with potato cellulose "Potex" during a determined storage period at a temperature  $(4\pm 2)$  °C depending on the initial values — the amount and the moisture mass fraction of the protein base, the ratio of dietary fiber concentrate and serum, which gives the ability to get a qualitative product with the given indicators.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-19

---

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АЛЬБУМІННОЇ ПАСТИ З КЛІТКОВИНОЮ

О.В. Грек, О.О. Онопрійчук, А.В. Тимчук, К.В. Овсієнко

Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано можливість прогнозування протягом зберігання показників якості альбумінної пасти з концентратом харчових волокон — картопляною клітковиною (КК) «Potex» як регулятора масової частки вологи. Наведено склад суміші та особливості підготовки картопляної клітковини «Potex» для ефективного внесення в альбумінну масу. З використанням загальноприйнятих методів досліджень визначено показники якості зразків пасти протягом трьох діб зберігання в лабораторних умовах. Для математичного опису змін вологоутримувальної здатності, активної кислотності (pH) та масової частки вологи альбумінної пасти з КК застосовували метод експериментально-статистичного моделювання з використанням

програми STATISTIKA. Отримані математичні моделі доцільно використовувати для прогнозування зміни показників альбумінної пасти з картопляною клітковиною «Potex» протягом визначеного терміну зберігання за температури  $4\pm 2^\circ\text{C}$  залежно від вихідних значень — кількості та масової частки вологи білкової основи, співвідношення концентрату харчових волокон і сироватки, що дає змогу отримати якісний продукт із заданими показниками.

**Ключові слова:** альбумінна паста з картопляною клітковиною «Potex», картопляна клітковина «Potex», метод експериментально-статистичного моделювання.

**Постановка проблеми.** Переробка молочної сироватки залишається актуальним напрямом, пов'язаним з виробництвом комбінованих продуктів на основі білкових концентратів зі складовими рослинного походження.

Згідно з нормативною документацією (ГУ 9224-062-04610209-2002), альбумін із підсирної сироватки виготовляють способом термокислотної коагуляції. Отриманий білковий концентрат використовують як рецептурний компонент при виробництві різних продуктів (сиркових виробів, плавлених сирів тощо). Враховуючи принципи ресурсозаощадження та харчової комбінаторики, для збагачення молочних продуктів і регулювання якісних показників доцільно використовувати інгредієнти рослинного походження, безпечні для здоров'я людей і сумісні з молочною основою в максимальних кількостях.

Альбумінна маса (АМ) є біологічно повноцінним продуктом за рахунок осадження сироваткових білків, які не підлягають сичужному зсіданню і майже повністю переходять із молока в сироватку. Білкова частина альбумінової маси містить у своєму складі лактоальбумінові ( $\alpha$  і  $\beta$ ), альбумінну, імуноглобулінову, протеозо-пептонну фракції. В-лактоглобулін, на частку якого припадає близько 50% загального вмісту сироваткових білків, включає 162 залишки амінокислот, дві внутрішньомолекулярні дисульфідні зв'язки і одну вільну сульфгідрильну (тіольну) групу залишку цистеїну, тому білок легко утворює димери і полімери. Первинна структура  $\beta$ -лактоглобуліну а також його вторинна структура, представлена в кількості близько 15%  $\alpha$ -спіральних ділянок,  $\beta$ -конформацією і неупорядкованою структурою [1]. Все це зумовлює високу біологічну цінність альбумінної маси, використання якої як білкової основи при розробці продуктів як спеціального, так і профілактичного призначення дасть змогу розширити існуючий асортиментний ряд, збільшити ресурси для повноцінних харчових продуктів [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Актуальним є використання в складі пасти на основі альбуміну концентратів харчових волокон (ХВ) з широким спектром дії для регулювання якісних показників.

Роль в організмі харчових волокон полягає в забезпеченні відчуття насиченості під час прийому їжі, створенні необхідних умов для функціонування нормальної мікрофлори кишківника, стимулюванні виведення холестерину, зменшенні та затримці всмоктування глюкози, що досить суттєво для хворих на цукровий діабет, підтриманні водно-сольового обміну, виведенні з орга-

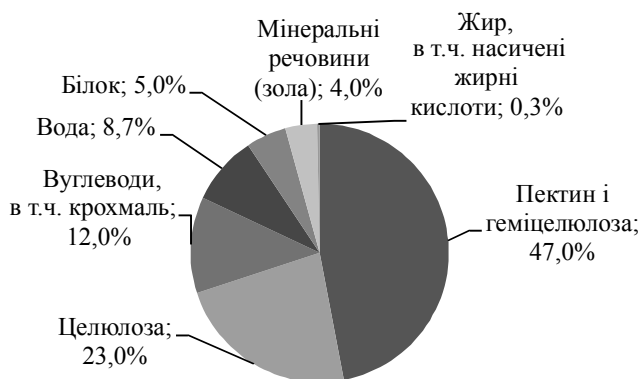
нізму важких металів завдяки гарним сорбційним властивостям тощо. Оптимальне споживання харчових волокон на добу складає 40...70 г [3; 4].

Сучасні принципи використання в молочних продуктах нетрадиційних складових рослинного походження з поліфункціональними властивостями можуть бути реалізовані шляхом розроблення технології виробництва альбумінної пасти з картопляною клітковиною (КК) — білкової продукції з прогнозованими кількісними і якісними показниками за визначених умов і терміну зберігання.

**Мета дослідження:** використовуючи можливості математичного моделювання, спрогнозувати якісні показники альбумінної пасти з концентратом харчових волокон — картопляною клітковиною «Potex» протягом нормативного терміну зберігання.

**Викладення основних результатів дослідження.** Альбумінна маса, яку отримували в лабораторних умовах з підсирної сироватки з активною кислотністю 4,4...4,6 од. рН способом термокислотної коагуляції протягом  $(90 \pm 2)$  хв за температури  $(95 \pm 2)$  °С, мала масову частку води від 78 до 83%, титровану кислотність —  $(95 \pm 5)$  °Т. Згідно з нормативною документацією, термін придатності альбумінної маси — не більше 3 діб за температури  $(4 \pm 2)$  °С та відносній вологості повітря не вище 80%. Ці умови були дотримані при дослідженні зразків альбумінної пасти з картопляною клітковиною «Potex». Остання має поліфункціональні властивості — одночасно збагачує та впливає на якісні показники виробів. Згідно з даними виробника, КК «Potex» має таку характеристику: вміст харчових волокон (геміцелюлоза, пектин, целюлоза, лігнін та ін.) — не менше 70%, масова частка води — не більше 14%, активна кислотність 10-відсоткової суспензії на рівні 7...9 од. рН, водопоглинальна здатність — 9,7...11,5 г/г сухого продукту. Перевагою «Potex» є менший вміст фітинової кислоти, яка не погіршує засвоєння мінеральних речовин організмом людини [5].

Картопляна клітковина — побічний продукт виробництва крохмалю, який виготовляють із клітинних стінок картоплі. Це дисперсний порошок світло-сірого кольору грубого помелу (з розміром часток менше 1 мм) з нейтральним смаком і запахом, підвищеними водопоглинальними властивостями, стійкий до дії високих температур. Хімічний склад клітковини «Potex» наведено на рис. 1 [6].



**Рис. 1. Хімічний склад картопляної клітковини «Potex»**

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Крім того, вміст фосфору складає 60,0 мг/100 г, а калію — 1200,0 мг/100 г. Мікробіологічні показники та вміст іонів важких металів у картопляній клітковині «Potex», згідно з інформацією виробника, наведено в таблиці.

**Таблиця. Мікробіологічні показники та вміст іонів важких металів у картопляній клітковині «Potex»**

Найменування показника	Норма
<i>Мікробіологічні показники, од/гр</i>	
Загальна кількість колоній NMKL NR 86 2006 ed 4	<50 000
Аеробні спори	<5 000
Коліформ-бактерія NMKL NR 44 2004 ed.6	<20
Presum Bacillus Cereus NMKL NR 67 ed. 6/ 2010	<1 000
Дріжджі NMKL NR 98 2005 ed. 4	<1 000
Плісень NMKL NR 98 2005 ed. 4	<1 000
Escherichia coli NMKL no 125 ed 4 2005	<10
Аеробний стафілокок NMKL 66 2009	<100
Сальмонела відсутня в 25 g Rapid Salm Short Prot	<0
КМАФАМ, КУО/1 г	$5 \cdot 10^4$
Плісняві гриби, КУО/1 г	50
Патогенні мікроорганізми (сальмонели), в 25 г	не допускається
Афлатоксини	
БГКП (колі форми) в 0,1 г	
<i>Токсичні елементи, мг/кг, не більше</i>	
Pb/Cd/Hg	0,1/0,1/0,1
As/Cu/Zn/As	0,5/10,0/30,0/0,1
<i>Радіонукліди, Бк/кг</i>	
Cs — 137/ Sr — 90	150/50

Харчова та енергетична цінність 100 г «Potex» становить 221 ккал і 905 кДж відповідно. Клітковина зберігається в чистому сухому місці за температури  $18 \pm 2^\circ \text{C}$ , не більше 4 років [7].

Картопляна клітковина широко застосовується як поліфункціональний інгредієнт у таких галузях, як м'ясопереробна, хлібопекарська, кондитерська тощо [8; 9]. Переваги застосування пов'язані передусім зі здатністю «Potex» зв'язувати воду та жир. При кімнатній температурі та слабкому перемішуванні картопляна клітковина зв'язує воду (1:(12...13)) та жир (1:(4...5)). При нагріванні відбувається додаткове зв'язування вологи, а отже, ущільнення структури кінцевого продукту. Клітковина має нейтральний смак і запах, витримує низькі показники активної кислотності (pH).

Доцільно вказати на узагальнені функціональні властивості КК «Potex», що є суттєвими для застосування цього інгредієнту в молочній галузі:

- швидка абсорбція води (залежно від зовнішніх умов);
- запобігання синерезису;
- стійкість до низьких показників рН і термічної обробки, в т. ч. заморожування;
- здатність поглинати жир, розчинний у воді;



- зв'язування суміші жиру та води або їх емульсії;
- запобігання розшаруванню та виділенню жиру з продукту;
- синергічний ефект від застосування клітковини з іншими інгредієнтами (клітковина з крохмалем та/або поліфосфатом);
- заміна інших інгредієнтів (оптимізація витрат);
- заміна алергенних компонентів;
- регулювання реологічних показників продукту;
- стійкість до високого вмісту солі;
- збільшення виходу продукту;
- зменшення виділення води у вакуумних упаковках (запобігання каплетворенню у вакуумній упаковці);
- зменшення втрат при термічній обробці (обжарюванні);
- забезпечення рівномірного розподілу жиру в продукті та стійкості емульсії;
- стабілізація форми [10].

Вищезазначені характеристики дають можливість використовувати картопляну клітковину «Potex» для поєднання з альбумінною масою для регулювання (утримання) вологи.

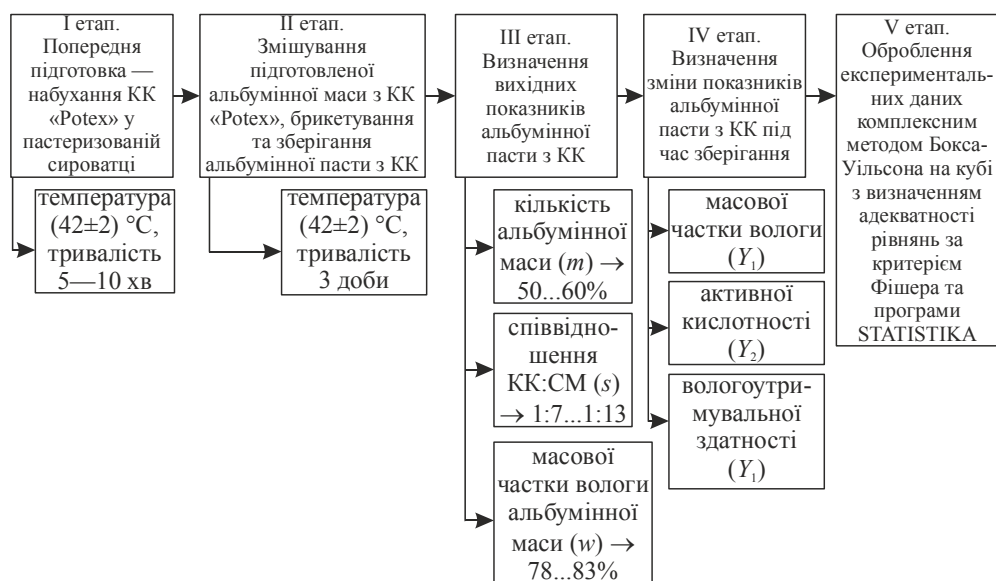
Попередню підготовку — набухання КК проводили в молочній сироватці з рН — 5,3; масовою часткою сухих речовин — 6,5%; лактозою — 4,6%; білком — 1,3 %; золою — 0,6%. З метою знищення сторонньої мікрофлори застосовували пастеризацію за температури (74±2) °С з витримкою 15—20 с.

Органолептичними дослідженнями обмежено кількість внесення концентрату харчових волокон «Potex» в альбумінну масу на рівні 4...5%. Такі зразки мали однорідну, пластичну консистенцію, смак і запах, притаманний альбуміну з ледь відчутним присмаком КК. Додавання КК менше 3% недоцільно з точки зору фізіологічного впливу на організм людини, а внесення «Potex» більше 6% призвело до набуття грубої, щільної консистенції із занадто вираженим запахом клітковини. Для попередньої підготовки КК використовували набухання протягом 5...10 хв у пастеризованій сироватці, охолодженій до (42±2) °С та взятій у співвідношенні до КК як 10:1 перед внесенням в альбумінну масу для забезпечення сталих показників по волозі.

У дослідних зразках альбумінної пасти з КК визначали масову частку вологи методом висушування до постійної маси за температури (102±2) °С, активну кислотність на універсальному іонімірі ЭВ-74, вологоутримувальну здатність — гравіметричним методом Грау-Хамма в модифікації А.А. Алексеева [11].

Для прогнозування інтенсивності змін вищезазначених показників протягом зберігання альбумінної пасти з КК було проведено декілька етапів підготовчих та основних експериментальних досліджень (рис. 2).

Визначення функціональних залежностей показників альбумінної пасти з КК проведено методом найменших квадратів. Для аналізу значущості коефіцієнтів рівняння регресії за допомогою прикладного програмного забезпечення була визначена адекватність рівнянь за критерієм Фішера ( $F_p$ ). Для визначення функціональної залежності, яка найбільш точно відтворює зміну показників, знайдено коефіцієнт достовірності апроксимації ( $R^2$ ) кожної функції.



**Рис. 2. Етапи експериментально-статистичних досліджень**

За допомогою математично-статистичного оброблення експериментальних даних отримані рівняння регресії для характеристики альбумінної пасти з КК на початку зберігання (формули 5—7) та протягом 3 діб (формули 8—10):

$$Y_{1(W1)} = 74,64 + 0,14x_1 + 1,32x_2 + 1,81x_3 + 0,41x_1x_2 + 0,29x_1x_3 \quad (5)$$

$$B_{кр i} = 0,383, B_{кр 2} = 0,761, B_{ij} = 0,421, F_r = 0,399$$

$$Y_{2(pH1)} = 4,99 + 0,007x_1 + 0,01x_2 - 0,012x_3 \quad (6)$$

$$B_{кр i} = 0,006, B_{кр 2} = 0,012, B_{ij} = 0,008, F_r = 0,475$$

$$Y_{3(BV31)} = 55,04 + 6,05x_1 + 2,5x_2 - 5,38x_3 - 0,33x_1x_3 - 0,4x_2x_3 + 0,61x_3^2 \quad (7)$$

$$B_{кр i} = 0,012, B_{кр 2} = 0,03, F_r = 0,174$$

$$Y_{1(W2)} = 64,38 + 1,08x_1 + 2,52x_2 + 3,02x_3 - 0,89x_1^2 + 0,87x_2^2 + 0,62x_3^2 \quad (8)$$

$$B_{кр i} = 0,015, B_{кр 2} = 0,032, B_{ij} = 0,019, F_r = 0,768$$

$$Y_{2(pH2)} = 4,65 + 0,01x_1 + 0,02x_2 \quad (9)$$

$$B_{кр i} = 0,008, B_{кр 2} = 0,016, B_{ij} = 0,007, F_r = 0,029$$

$$Y_{3(BV32)} = 67,7 - 0,48x_1 - 2,22x_2 - 2,07x_3 + 0,55x_1x_2 + 0,34x_1x_3 + 0,73x_2x_3 + 0,49x_3^2 \quad (10)$$

$$B_{кр i} = 0,022, B_{кр 2} = 0,044, F_r = 0,377.$$

Для вище наведених рівнянь виконується умова  $F_p < F_m$ , що дає змогу зробити висновок про адекватність отриманих рівнянь дійсному стану процесу.

Отримано математичні моделі змін показників альбумінної пасти з КК від кількості альбумінової основи ( $m$ ), співвідношення (КК:СМ) ( $s$ ), масової частки вологи альбуміну ( $w$ ) методом обертових координат (Розенброка), що є емпіричними формулами для апроксимації експериментальних даних на початку зберігання (формули 11, 13, 15) та протягом 3 діб (формули 12, 14, 16).

$$Y_{1(MЧВ1)} = 53,31 \cdot \frac{w^{0,1}}{m^{0,32} \cdot s^{0,061}}, R^2 = 0,975\%. \quad (11)$$

$$Y_{1(MЧВ2)} = 27,01 \cdot \frac{s^{0,04}}{m^{0,13} \cdot w^{1,9}}, R^2 = 0,996\%. \quad (12)$$

$$Y_{2(pH1)} = 5,20 \cdot \frac{1}{w^{0,012} \cdot s^{0,02}}, R^2 = 0,968. \quad (13)$$

$$Y_{2(pH2)} = 5,15 \cdot \frac{m^{0,002}}{w^{0,013} \cdot s^{0,002}}, R^2 = 0,984. \quad (14)$$

$$Y_{3(BV31)} = 53,03 \cdot \frac{w^{0,019} \cdot s^{0,04}}{m^{0,2}}, R^2 = 0,978\%. \quad (15)$$

$$Y_{3(BV32)} = 69,58 \cdot \frac{w^{0,18}}{m^{0,11} \cdot s^{0,042}}, R^2 = 0,972. \quad (16)$$

Аналіз математичних моделей (формули 15—16) та зміни вологоутримувальної здатності альбумінної пасти з КК протягом усього терміну зберігання свідчить, що цей показник знаходиться в обернено пропорційній залежності від співвідношення компонентів КК:СМ. Зниження масової частки вологи альбумінної маси (78%) та збільшення співвідношення КК:СМ (1:13) сприяє підвищенню вологоутримувальної здатності альбумінної пасти з КК на початку зберігання та зростає в середньому в 1,31 раза порівняно з контролем і набуває пікових значень при гранично низькій масовій частці вологи (78%) і співвідношенні КК:СМ (1:7), що відповідає вмісту концентрату «Potex» в альбумінній пасти на рівні 4,98%. Ймовірно, це пов'язано з багатокомпонентністю КК — складного комплексу біополімерів лінійної і розгалуженої структури з гідроксильними (целюлоза, геміцелюлоза), фенольними (лігнін), карбоксильними групами (геміцелюлоза, пектинові речовини), які з часом підсилюють водневі зв'язки та здатність сорбувати воду й інші полярні молекули та іони, внаслідок чого зростає вологоутримувальна здатність.

Графічна інтерпретація змін масової частки вологи (а) та активної кислотності (б) альбумінної пасти з КК протягом трьох діб зберігання залежно від кількості ( $m$ ) і масової частки вологи альбуміну ( $w$ ) та співвідношення компонентів КК:СМ ( $s$ ) представлено на рис. 3.

Відповідно до одержаних математичних моделей (формули 11—12, 15—16) та поверхонь відгуку (рис. 3), встановлено, що більший вплив на зміну показників пасти з КК під час зберігання має вміст вологи альбумінної маси порівняно зі співвідношенням компонентів в композиції КК:СМ. Очевидно, що максимальні значення масової частки вологи пасти з КК можливо отримати

при вологості альбумінної маси 83 % та співвідношенні 1:13. В абсолютних значеннях це відповідає 4,53 % КК в суміші з альбуміном, тоді як мінімальні при 78% та співвідношенні 1:7, що відповідає вмісту «Potex» в суміші з сироватковими білками, 4,98%. Доведено, що при зміні співвідношення КК:СМ від 1:13 до 1:7 зменшується кількість вільної води в пасти з КК на 8,92%. Даний позитивний ефект дає змогу скоротити тривалість технологічної операції самопресування та збільшити вихід альбумінної маси.

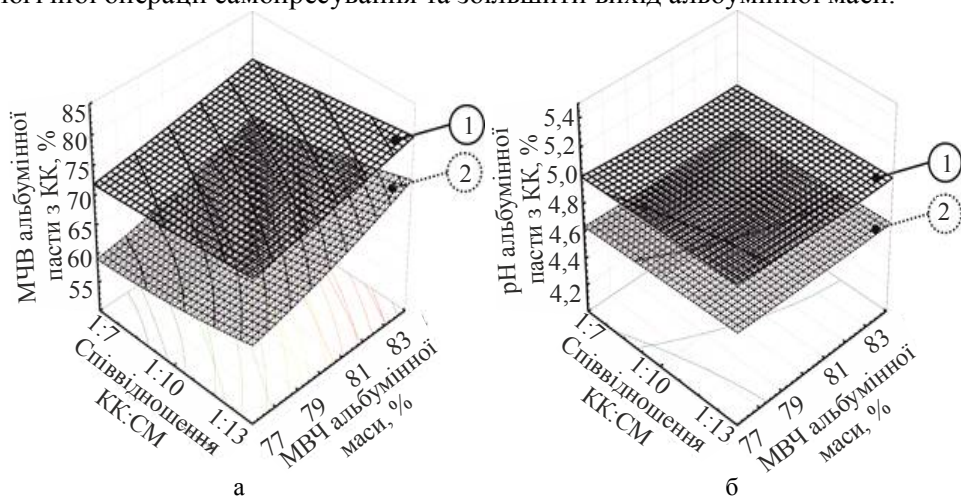


Рис. 3. Поверхні відгуку змін масової частки води (а) та активної кислотності (б) альбумінної пасти з картопляною клітковиною «Potex» на початку зберігання (1) та на 3 добу (2)

Встановлено вплив картопляної клітковини «Potex» (КК) на активну кислотність досліджених зразків (формули 13—14) — середнє значення даного показника насамперед залежить від рН альбуміну. Під час зберігання значення рН змінюється в межах  $(1,0 \pm 0,1)\%$ , що не перевищує граничні відхилення досліджень.

### Висновки

Цикл комплексних досліджень з використанням методів експериментально-статистичного моделювання, розробленням ряду математичних моделей та аналізу візуалізації дає можливість обирати співвідношення складових для альбумінної пасти з КК «Potex» залежно від їх вихідних показників (кількості та води альбумінної маси, співвідношенні компонентів КК:СМ) для забезпечення мінімальних змін показників при зберіганні за умов, передбачених нормативними документами для такого виду продуктів — не більше 3 діб за температури  $(4 \pm 2)^\circ \text{C}$ . Експериментально визначено і теоретично підтверджено, що кількість внесення картопляної клітковини «Potex» до альбумінної маси становить  $(4,5 \dots 5,0)\%$ .

### Література

1. Adjonu R., Doran G., Torley P., Agboola S., 2014. Whey protein peptides as components of nanoemulsions: A review of emulsify in food biological functionalities // Journal of Food Engineering. — Volume 122, February. — P. 15—27.

2. Santos M.J., Teixeira J.A., Rodrigues L.R. 2012. Fractionation of the major whey proteins and isolation of  $\beta$ -Lactoglobulin variants by anion exchange chromatography // Separation and Purification Technology. — Volume 90, 27 April. — P. 133—139.
3. Використання харчових волокон при виробництві рисового корпусу для коекструзійних продуктів / О.В. Запотоцька, А.І. Бур'ян, А.В. Шаран, В.М. Ковбаса. // Ukrainian Food Journal. — 2012. — С. 27—30.
4. Delcour J., Poutanen K. Fibre-Rich and Wholegrain Foods // Improving Quality. — 2013. — P. 496.
5. Використання картопляної дієтичної харчової клітковини в хлібопеченні / Ю.С. Шевчук, І.В. Якимчук, А.М. Грищенко // Програма і матеріали 78-ї міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішення проблем харчування людства у XXI столітті», 2—3 квітня 2012 р. — Київ : НУХТ, 2012. — Ч. 1. — С. 79—80.
6. Висновок санітарно-епідеміологічної експертизи №05.03.02-03/61827 від 07.10.2014 р., виробник. — «Lyskeby Starch AB» Швеція.
7. Paturi G., Nyanhanda T. Effects of Potato Fiber and Potato-Resistant Starch on Biomarkers of Colonic Health in Rats Fed Diets Containing Red Meat / G. Paturi, T. Nyanhanda, A. Christine Butts, T. Herath, J. Monro, J. Ansel // Journal of Food Science. — 2012. — Vol. 77, # 10. — P. 216—223.
8. Прянишников В.В. Производство мясных полуфабрикатов по инновационным технологиям / В.В. Прянишников, Т.М. Гиро, Н.И. Семикопенко // Молодой ученый. — 2014. — № 12. — С. 95—98.
9. Дробот. В. Картопляні пластівці у хлібобулочних виробках / В. Дробот, О. Білик, Н. Савчук // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. — 2009. — № 07—08 (56—57). — С. 43—44.
10. Kaack K. New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread / K. Kaack, L. Pedersen // Eur Food Res Technol. — 2005. — P. 200—207.
11. Лабораторный практикум по технологии молока и молочных продуктов / И.С. Хамагаева, Р.А. Васильева, Г.Б. Лев и др. — Улан-Удэ. : Изд-во ВСГТУ, 2000. — С. 47—48.

## RESEARCH OF FOOD, BIOLOGICAL VALUE AND DIGESTIBILITY OF GLUTEN-FREE PASTA MADE FROM CORN FLOUR

O. Rozhno, V. Yurchak, V. Rak

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Gluten-free pasta*  
*Chemical composition*  
*Food energy*  
*Biological value*  
*Digestibility*

**Article history:**

Received 13.11.2017  
Received in revised form  
11.12.2017  
Accepted 27.12.2017

**Corresponding author:**

O. Rozhno

**E-mail:**

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

---

**ABSTRACT**

This study identifies the nutritional, biological value and digestibility for different recipes of gluten-free pasta made from corn flour. It is established that these products contain more vitamins, especially  $\beta$ -carotene, vitamins B — B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, PP and minerals: iron, calcium, phosphorus, magnesium, compared with wheat products. Using dry egg protein in the amount of 5.0% contributes to the enrichment of pasta products with protein which contains 10.94 mg per 100 g. It was found that digestion of pasta products from corn is not significantly different from pasta from wheat flour. The digestibility of protein substances is higher for developed gluten-free pasta.

---

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-20

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРЧОВОЇ, БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ТА ПЕРЕТРАВЛЮВАНОСТІ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ З КУКУРУДЗЯНОГО БОРОШНА

О.В. Рожно, В.Г. Юрчак, В.П. Рак

Національний університет харчових технологій

У статті визначено харчову, біологічну цінність і перетравлюваність для розроблених за різними рецептурами безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна. Встановлено, що в цих виробках міститься більше вітамінів; особливо  $\beta$ -каротину, вітамінів групи В — В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР і мінеральних речовин (заліза, кальцію, фосфору, магнію), порівняно з пшеничними виробами. Використання СЯБ у кількості 5,0% сприяє збагаченню макаронних виробів білком, вміст якого сягає 10,94 мг на 100 г. Визначено, що перетравлюваність макаронних виробів з кукурудзяного і пшеничного борошна суттєво не відрізняється. Перетравлюваність білкових речовин є вищою для розроблених безглютенових макаронних виробів.

**Ключові слова:** безглютенові макаронні вироби, хімічний склад, енергетична цінність, біологічна цінність, перетравлюваність.

**Постановка проблеми.** Останнім часом фахівці харчової промисловості значну увагу приділяють розробленню продуктів дієтичного, оздоровчого та профілактичного призначення і технології їх виготовлення. Створення таких продуктів передбачає збагачення їх певними харчовими інгредієнтами чи, навпаки, повне їх виключення [1]. Так, у разі розроблення дієтичних виробів для хворих на целиакію необхідно виключити білок глютен, а для хворих на фенілкетонурію — взагалі виключити білок. У першому випадку застосовують сировину, що не містить глютену. У разі розроблення безбілкових виробів (хліба, макаронних виробів, печива) основною сировиною є крохмаль [2].

Розробники таких виробів приділяють особливу увагу забезпеченню їх структури, прийнятних смакових властивостей тощо. Проте важливе значення має надання цим виробам належної харчової та біологічної цінності.

Використання кукурудзи, рису, гречки як сировини з виробництва продуктів для дотримання безглютенової дієти описано в [3; 4].

Кукурудзяне борошно має певні переваги для виготовлення безглютенових макаронних виробів з нього. З огляду на хімічний склад воно характеризується як таке, що не містить глютену. Недоліком є низький вміст білків. Проте кукурудзяне борошно має цінний хімічний склад за вмістом вітамінів В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР та β-каротину, а також мінеральних речовин: кальцію, магнію, заліза, фосфору [5].

Нами розроблені макаронні вироби з кукурудзяного борошна тонкого помелу з використанням структуроутворювачів — камеді ксантану та карбоксиметилцелюлози (КМЦ) [6; 7]. Також використовували білкові продукти: желатин і сухий яєчний білок (СЯБ), які вносили для збагачення макаронних виробів білком і для поліпшення структури виробів [8; 9]. Розроблені рецептури безглютенових макаронних виробів без використання добавок структуроутворювачів — з внесенням екструдованого кукурудзяного борошна або заварюванням частини кукурудзяного борошна тонкого помелу [9; 10]. Встановлено дозування структуроутворювачів, кількість внесеного екструдованого або завареного борошна, які забезпечують найкращу якість виробів за показниками міцності, варильних властивостей, зокрема переходу сухих речовин у варильну воду.

Оскільки добовий раціон харчування для людей хворих на целиакію дуже обмежений, він корегується залежно від харчової та біологічної цінності безглютенових харчових продуктів. Зважаючи на це, важливим є дослідження хімічного складу, енергетичної цінності та амінокислотного скору для розроблених безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна. Для корегування добового раціону харчування для хворих на целиакію також необхідно враховувати покриття добової потреби (інтегральний скор) у поживних речовинах при вживанні даних макаронних виробів.

Білки та вуглеводи кукурудзяного борошна за хімічним складом відрізняються від білків пшеничного борошна, а швидкість перетравлювання є одним із факторів, що визначають фізіологічну цінність виробів, виготовлених з нього. Отже, важливо вивчити перетравлюваність макаронних виробів з кукурудзяного борошна, виготовлених за різними рецептурами.

**Матеріали і методи.** Для визначення хімічного складу безглютенкових макаронних виробів з кукурудзяного борошна розраховували вміст білків, жирів, вуглеводів, харчових волокон, мінеральних речовин і вітамінів, виходячи з хімічного складу борошна та інших видів сировини.

Для того, щоб визначити кількість борошна в 100 г продукту, розраховували планову норму його витрат за вологості 14,5 %,  $N_{б.п.л.}$ , кг/т, за формулою:

$$N_{б.п.л.} = Z_T + B_B + N_B, \quad (1)$$

де  $Z_T$  — технологічні затрати борошна, кг/т;  $B_B$  — питома величина втрачених витрат борошна, кг/т;  $N_B$  — питома величина незворотніх витрат борошна, кг/т.

Технологічні затрати,  $Z_T$ , кг/т, розраховуються за формулою:

$$Z_T = \frac{100 - W_{\text{вир.}}}{100 - W_{\text{бор}}} \cdot 1000, \quad (2)$$

де  $W_{\text{вир.}}$ ,  $W_{\text{бор}}$  — вологість виробів і борошно відповідно, %;

Норму витрат борошна для виробів зі структуроутворювачами,  $N_{б.п.л.}$ , кг/т, розраховували за формулою:

$$N_{б.п.л.} = \frac{N_{б.п.л.} \cdot (100 - W_6)}{(100 - W_6) + a}, \quad (3)$$

де  $a$  — поправочний коефіцієнт на додаткову сировину, в даному випадку на структуроутворювачі для виготовлення макаронних виробів.

Поправочний коефіцієнт розраховували за формулою:

$$a_i = 0,001 \cdot P_{н.д.}^i \cdot (100 - W_{п.л.д.}^i), \quad (4)$$

де  $P_{н.д.}^i$  — норми добавок на 1 т борошна за рецептурою.

Норма витрат додаткової сировини,  $N_{д.пл.}$ , кг/т, для кожного виду виробів визначається за формулою:

$$N_{д.пл.} = 0,001 \cdot P_{н.д.} \cdot N_{б.пл.}^д, \quad (5)$$

де  $N_{б.пл.}^д$  — планова норма витрат борошна на 1 т виробів, кг/т;  $P_{н.д.}$  — норма добавок на 1 т борошна за рецептурою, кг.

Кількість білків у виробках,  $G_{б'}$ , г/100 г, розраховували за формулою:

$$G_{б'} = \frac{\sum G_6^i \cdot G_i}{100}, \quad (6)$$

де  $G_6^i$  — вміст білків, г у 100 г кожного виду сировини (за нормативними документами на сировину або згідно з таблицями хімічного складу сировини);  $G_i$  — витрати кожного ( $i$ -того) виду сировини, г, для виготовлення 100 г макаронних виробів.

Кількість жирів, вуглеводів, харчових волокон, вітамінів і мінеральних речовин розраховували за аналогічними формулами.



Енергетичну цінність 100 г виробів,  $EЦ^{100}$ , ккал, розраховували за формулою:

$$EЦ^{100} = G_б^{100} \cdot 4,0 + G_ж^{100} \cdot 9,0 + G_в^{100} \cdot 4,0, \quad (7)$$

де  $G_б^{100}$ ,  $G_ж^{100}$ ,  $G_в^{100}$  — загальна кількість білків, жирів та вуглеводів в 100 г виробу, г.

Розрахунок інтегрального скору для макаронних виробів здійснювали для 100 г продукту. Для цього визначали, на скільки покривається добова норма споживання основних нутрієнтів у разі вживання 100 г макаронних виробів.

Інтегральний скор для білка,  $I_н^б$ , %, визначають за такою формулою:

$$I_н^б = \frac{G_б^i}{G_{б,доб}}, \quad (8)$$

де  $G_б^i$  — кількість білків у 100 г харчового продукту, г;  $G_{б,доб}$  — добова потреба у білках для відповідної категорії населення. Середню добову потребу дорослої людини в харчових інгредієнтах та енергії приймали для чоловіків віком від 18—29 років, I групи інтенсивності праці.

За аналогічними формулами визначали інтегральний скор для інших нутрієнтів: жирів, вуглеводів, харчовин волокон, вітамінів і мінеральних речовин.

Біологічну цінність розроблених макаронних виробів оцінювали за амінокислотним скором.

Амінокислотний скор, АК скор, %, для кожної з незамінних амінокислот розраховували за формулою:

$$AK \text{ скор} = \frac{\text{мг АК в 1 г досліджуваного білка}}{\text{мг АК в 1 г «еталонного білка»}} \cdot 100, \quad (9)$$

де АК — будь-яка незамінна амінокислота. Дані щодо вмісту кожної амінокислоти в еталонному білку брали з положень ФАО/ВООЗ (1973).

Перетравлюваність вуглеводів визначали для всіх зразків макаронних виробів з кукурудзяного борошна зі застосуванням ферменту «Панзинорм» за кількістю редукуючих речовин (X), % на СР. Кількість продуктів гідролізу визначали йодометричним методом Шорля у модифікації ВНДІХП [11].

Перетравлюваність білків у макаронних виробках визначали за швидкістю їх гідролізу ферментами пепсин-трипсин *in Vitro* за методом Покровського-Сртанова [12] у зразках з кукурудзяного борошна, частина якого заварювалась, та з желатином і СЯБ.

За контроль приймали перетравлюваність макаронних виробів із пшеничного борошна.

**Результати і обговорення.** Визначені хімічний склад та енергетична цінність безглютенових макаронних виробів з пшеничного і кукурудзяного борошна наведені в табл. 1.

З літературних джерел відомо [5], що у хімічному складі кукурудзяного борошна не міститься клейковинного білка. Як підтверджують дані, наведені в табл. 1, безглютенові макаронні вироби з кукурудзяного борошна збіднені на білок, і його кількість становить близько 7,5 г на 100 г продукту, що на 3,7 г

менше, ніж у пшеничних макаронних виробках. Внесення сухого яєчного білка (СЯБ) у кількості 5,0% дає змогу збільшити вміст білка у макаронних виробках до рівня пшеничних макаронних виробів — 10,94 г на 100 г продукту. Внесення желатину як структуроутворювача у кількості 1,0% підвищує вміст білка приблизно на 0,8 г на 100 г продукту.

Кількість жирів у всіх зразках безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна дещо більша, ніж у пшеничних виробках, і становить 1,51—1,54 г на 100 г продукту. Це є одним із чинників, що збільшує їх енергетичну цінність.

Кількість вуглеводів у всіх зразках макаронних виробів з кукурудзяного борошна знаходиться в межах 69,63—73,36 г на 100 г продукту.

Найменшу кількість вуглеводів містить зразок макаронних виробів з СЯБ — 69,63 г на 100 г продукту. Макаронні вироби з кукурудзяного борошна мають більший вміст вуглеводів, в тому числі харчових волокон 4,25—4,48 г на 100 г продукту, порівняно з пшеничними.

У всіх зразках безглютенових макаронних виробів кількість вітамінів майже однакова. Макаронні вироби з кукурудзяного борошна, порівняно з пшеничними виробами, містять значно більшу кількість вітамінів групи В: В<sub>1</sub> (приблизно у 2 рази), В<sub>2</sub> та РР (у 1,5 рази). Проте вміст токоферолу в них нижчий і становить приблизно 0,60 мг на 100 г виробів, порівняно з 1,50 мг на 100 г пшеничних виробів.

У безглютенових макаронних виробках β-каротин значною мірою впливає на їхнє забарвлення і його кількість знаходиться в межах 0,105—0,111 мг на 100 г продукту. У пшеничних макаронних виробках з хлібопекарського борошна не міститься β-каротину.

У всіх зразках макаронних виробів з кукурудзяного борошна міститься майже у 2 рази більше магнію, приблизно на 26% більше фосфору, на 61% більше заліза та трохи більше кальцію, порівняно з пшеничними виробами.

**Таблиця 1. Хімічний склад та енергетична цінність безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна**

Хімічний склад в 100 г продукту	Макаронні вироби з пшеничного хлібопекарського борошна вищого сорту (контроль)	Макаронні вироби з кукурудзяного борошна				без застосування структуроутворювачів, з використанням екструдованого кукурудзяного борошна (20%) або частини завареного кукурудзяного борошна тонкого помелу (10%)
		з використанням структуроутворювачів у кількості, % до маси борошна			СЯБ, 5,0	
		ксантану, 0,7 або КМЦ, 0,3	желатину, 1,0			
1	2	3	4	5	6	
Білки, г	11,0	7,27—7,30	8,13	10,94	7,33	
Жири, г	1,34	1,52	1,51	1,54	1,53	
Вуглеводи, г	70,50	73,06—72,92	72,60	69,63	73,36	
в т. ч. харчові волокна, г	3,72	4,44	4,43	4,25	4,48	

*Продовження табл. 1.*

1	2	3	4	5	6
Вітаміни: Е (токоферол), мг	1,50	0,61	0,60	0,58	0,61
В-каротин, мг	0	0,105	0,108	0,111	0,108
В1 (тіамін), мг	0,17	0,36	0,35	0,34	0,35
В2 (рибофлавін), мг	0,04	0,13	0,15	0,13	0,13
РР (ніацин), мг	1,20	1,83	1,83	1,74	1,80—1,83
Макро- та мікроелементи: Са (кальцій), мг	18,91	20,0	20,89	53,15	20,0
Fe (залізо), мг	1,66	2,74	2,71	2,74	2,7
P (фосфор), мг	87,0	110,10—110,55	111,70	119,82	109,0
Mg (магній), мг	16,0	30,30—30,43	30,50	32,85	30,0
Енергетична цінність, ккал	338	343	343		343

Макаронні вироби із СЯБ, порівняно з іншими зразками кукурудзяних макаронних виробів, за вмістом макро- і мікроелементів є найбільш багатими на кальцій — 53,15 мг на 100 г продукту, фосфор — 119,82 мг на 100 г продукту та магній — 32,85 мг на 100 г продукту.

Енергетична цінність усіх зразків макаронних виробів з кукурудзяного борошна однакова і становить 343 ккал.

Отримані значення забезпечення добової потреби (інтегральний скор) в основних нутрієнтах (%) при вживанні 100 г макаронних виробів з кукурудзяного борошна наведені в табл. 2. Як видно з табл. 2, безглютенові макаронні вироби з кукурудзяного борошна покривають добову потребу в білках на 10,79—16,33%. Зразок з внесеним СЯБ найбільше покриває добову норму білка — на 16,33%, серед макаронних виробів з кукурудзяного борошна та має практично однаковий інтегральний скор по білку порівняно з пшеничними — 16,42%.

Інтегральний скор по вуглеводах для всіх зразків макаронних виробів, крім пшеничних макаронних виробів та виробів із СЯБ, знаходиться в межах 18,7%. Покриття добової потреби в вуглеводах для виробів з СЯБ є дещо меншим і становить 17,79%. Для безглютенових макаронних виробів покриття добової норми споживання вітамінів вище, порівняно з пшеничними виробами, а саме: вітаміну В1 — в 2 рази; В2 — в 3,4 раза та РР — в 1,5 раза.

Кукурудзяне борошно багате залізом, кальцієм, фосфором. Інтегральний скор за мінеральними речовинами для всіх зразків безглютенових макаронних виробів є вищим, порівняно з пшеничними виробами, і складає: для заліза — 18,04%, для фосфору — 9,17—9,99 %, для магнію — 7,88—8,21%. Макаронні вироби з СЯБ найбільше задовольняють потребу в мінеральних речовинах, порівняно з іншими зразками, зокрема за кальцієм — на 4,43%.

Значення амінокислотного скору для безглютенових макаронних виробів наведені в табл. 3.

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 2. Забезпечення добової потреби в основних нутрієнтах

Хімічний склад	Середня добова потреба в основних нутрієнтах	Інтегральний скор, % при вживанні 100 г макаронних виробів з кукурудзяного борошна				
		з пшеничного хлібопекарського борошна вищого сорту	з використанням як структуроутворювачів у кількості, % до маси борошна			без застосування структуроутворювачів, з використанням екструдованого кукурудзяного борошна (20%) або частини (10%) завареного кукурудзяного борошна тонкого помелу
			ксантану, 0,7 або КМЦ, 0,3	желатину, 1,0	СЯБ, 5,0	
Білки, г	67	16,42	10,79—10,90	12,13	16,33	10,93
Жири, г	68	1,97	2,24	2,23	2,26	2,24
Вуглеводи, г	392	17,98	18,64—18,60	18,52	17,79	18,71
в т. ч. харчові волокна, г	25	14,88	17,76	17,72	17,00	17,92
Вітаміни: Е (токоферол), мг	15	10,00	4,06	4,03	3,87	4,07
В1 (тіамін), мг	1,6	10,63	22,19	22,03	21,14	22,50
В2 (рибофлавін), мг	2	2,00	6,59	7,55	6,28	6,61
РР (ніацин), мг	22	5,45	8,30	8,31	7,91	8,18—8,32
Макро- та мікроелементи: Са (кальцій), мг	1200	1,58	1,70	1,74	4,43	1,70
Fe (залізо), мг	15	11,07	18,26	18,24	18,04	18,3
Р (фосфор), мг	1200	7,25	9,17—9,21	9,31	9,99	9,24
Mg (магній), мг	400	4,00	7,58—7,61	7,62	8,21	7,6

Таблиця 3. Амінокислотний скор (АК скор) безглутенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна

Незамінні амінокислоти	Еталонний білок (за ФАО/ВООЗ), мг/г білка	Макаронні вироби							
		з пшеничного хлібопекарського борошна вищого сорту (контроль)		з кукурудзяного борошна без застосування добавок структуроутворювачів		з кукурудзяного борошна з внесенням у кількості, до маси борошна			
						желатину, 1,0 %		СЯБ, 5,0 %	
		мг/г білка	АК скор, %	мг/г білка	АК скор, %	мг/г білка	АК скор, %	мг/г білка	АК скор, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Валін	50	46	91,5	57	115,5	58	115,9	64	121,9
Ізолейцин	40	42	104,4	43	108,3	44	108,5	50	115,4

*Продовження табл. 3.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лейцин	70	78	111,8	177	254,2	178	254,6	184	260,1
Лізин	55	24	44,1	34	62,8	35	63,2	40	67,7
Метіонін	35	16	45,7	40	115,0	40	115,1	46	120,3
Треонін	40	30	75,5	34	85,7	35	86,1	39	91,1
Триптофан	10	10	100,0	9	93,0	9	93,0	9	94,6
Феніл-аланін	60	49	80,9	111	222,4	111	222,4	112	223,1

Встановлено, що у макаронних виробках із кукурудзяного борошна міститься більше, ніж у 2 рази лейцину, фенілаланіну та метіоніну, порівнюючи з пшеничними виробами.

Лімітуючою амінокислотою для всіх зразків макаронних виробів є лізин, проте АК скор за лізином білків кукурудзяних виробів є вищим приблизно у 1,5 рази, порівняно з пшеничними виробами. Для зразків з СЯБ це значення найвище і становить 67,7%. Це свідчить про кращу засвоюваність білка кукурудзяних виробів.

За вмістом інших амінокислот кукурудзяні макаронні вироби мають також дещо вищі значення амінокислотного скору, крім амінокислоти триптофан.

На перетравлюваність макаронних виробів насамперед впливає їх хімічний склад, а також зміни структури при варінні продукту тощо. Результати досліджень перетравлюваності вуглеводів безглютенних макаронних виробів з кукурудзяного борошна зі структуроутворювачами ксантаном, КМЦ, желатином, СЯБ та виробів, виготовлених без їх застосування, порівняно з пшеничними макаронними виробами, наведені в табл. 4.

**Таблиця 4. Результати досліджень перетравлюваності вуглеводів безглютенних макаронних виробів з кукурудзяного борошна**

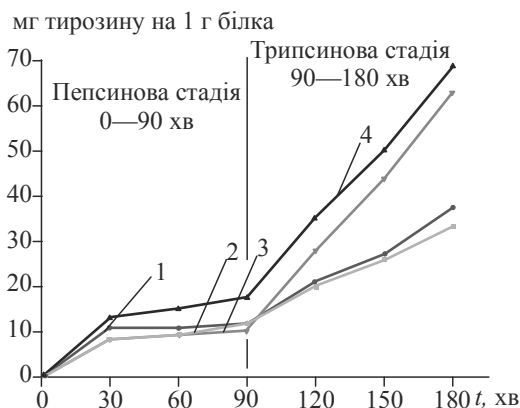
Зразки макаронних виробів	Тривалість гідролізу, хв				
	0	45	90	135	180
	вміст редуруючих речовин, % на СР				
З пшеничного борошна вищого сорту (контроль)	0,20	0,44	0,58	1,41	1,59
З кукурудзяного борошна :					
з частиною завареного борошна (10%)	0,18	0,39	0,60	1,34	1,63
з екструдованим борошном (20%)	0,18	0,45	0,60	1,48	1,84
з ксантаном (0,7%)	0,36	0,48	0,60	1,57	1,82
з КМЦ (0,3%)	0,24	0,28	0,31	1,35	1,56
з желатином (1,0%)	0,21	0,31	0,33	1,41	1,55
з СЯБ (5,0%)	0,20	0,27	0,29	1,31	1,51

З отриманих даних (табл. 4) видно, що макаронні вироби з кукурудзяного і пшеничного борошна суттєво не відрізняються за перетравлюваністю вуглеводів. Перетравлюваність виробів за показником вмісту редууючих речовин для зразка з частиною завареного кукурудзяного борошна (10%) практично відповідає значенням для пшеничних макаронних виробів (контролю). Для зразків з КМЦ, желатином та СЯБ ці значення близькі за тривалістю гідролізу —

180 хв. Проте в процесі гідролізу вміст редуруючих речовин дещо нижчий, ніж у пшеничних виробках.

Безглютенові макаронні вироби з ксантаном та екструдованим кукурудзяним борошном гідролізуються краще, порівняно з іншими зразками, як з моменту початку гідролізу, так і після його закінчення, кількість редукуючих речовин на всіх етапах гідролізу є найбільшою. Імовірно, що гідроліз макаронних виробів з ксантаном проходить краще завдяки тому, що ксантан сам гідролізується у колоїдному розчині, оскільки він є полісахаридом — галактомананом. Для зразка макаронних виробів з екструдованим кукурудзяним борошном це можна пояснити тим, що на всіх стадіях гідролізу в екструдованому борошні відбувається краща атакованість вуглеводів ферментами, завдяки розриву стінок клітин, руйнації структури гранул і розриву молекулярного ланцюга крохмалю при екструзуванні.

Результати дослідження перетравлюваності білків безглютенових макаронних виробів з виготовлених з використанням завареного борошна, желатину та СЯБ наведені на рис. 1 та в табл. 5.



**Рис. 1. Перетравлюваність білкових речовин макаронних виробів:**

1 — пшеничні макаронні вироби; 2 — кукурудзяні з частиною завареного борошна; 3 — кукурудзяні з желатином; 4 — кукурудзяні з СЯБ

**Таблиця 5. Результати досліджень перетравлюваності білків безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна**

Тривалість, хв	Макаронні вироби			
	з пшеничного хлібопекарського борошна вищого сорту (контроль)	з кукурудзяного борошна		
		частиною (10%) завареного борошна тонкого помелу	з желатином	
			у кількості, % до маси борошна	
		1,0	5,0	
	Перетравлюваність, мг тирозину на 1 г білка			
30	10,62	8,31	8,31	13,10
60	10,71	9,42	9,25	15,21
90	11,55	11,80	10,25	17,52
120	21,12	20,01	28,11	35,26
150	27,08	26,12	44,21	50,01
180	37,41	33,43	62,89	68,89

З табл. 5. видно, що у разі збільшення кількості білка більше утворюється продуктів протеолізу. Білки кукурудзяних макаронних виробів із СЯБ гідролізуються краще, вони утворюють в 1,5 раза більшу кількість продуктів протеолізу, ніж пшеничні та кукурудзяні вироби з частиною завареного борошна тонкого помелу.

Та сама залежність на збільшення кількості продуктів протеолізу прослідковується для макаронних виробів з СЯБ і під дією іншого протеолітичного ферменту — трипсину, на трипсинової стадії гідролізу (90—180 хв).

Проте гідроліз відбувається інтенсивніше. Порівняно з пшеничними виробами вони утворюють в 1,8 раза більше продуктів протеолізу, а порівнюючи з кукурудзяними з частиною завареного борошна — в 2,1 раза. Це пов'язано з тим, що в процесі варіння СЯБ денатурує, а пептидні ланцюги міняють своє розташування в структурі, що сприяє більшій атакованості білків ферментами.

Білки безглютенових макаронних виробів із желатином гідролізуються на пепсинової стадії дещо гірше порівняно з іншими зразками макаронних виробів, а кількість продуктів протеолізу найменша — 10,25 мг тирозину на 1 г білка. Хоч і на трипсинової стадії вони гідролізують в 1,1 раза гірше, ніж вироби з СЯБ, але значно краще — в 1,7—1,9 раза, ніж пшеничні вироби та кукурудзяні з частиною завареного борошна відповідно.

Дані з перетравлюваності білків макаронних виробів з кукурудзяного борошна свідчать про кращу їх засвоюваність.

## **Висновки**

1. Визначення харчової цінності безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна показало, що ці вироби збіднені на білок. Проте в них міститься більше вітамінів: особливо  $\beta$ -каротину, вітамінів групи В — В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР і мінеральних речовин: заліза, кальцію, фосфору, магнію. Використання СЯБ у кількості 5,0% сприяє збагаченню макаронних виробів білком, вміст якого сягає 10,94 мг на 100 г.

2. При споживанні 100 г макаронних виробів із СЯБ потреба у макро- і мікронутрієнтах забезпечується найбільше: в білках — на 16,33%, в кальції — на 4,43%, у фосфорі — на 9,99% та магнії — на 8,21%.

3. Біологічна цінність безглютенових макаронних виробів є вищою порівняно з пшеничними виробами, оскільки вони більш повноцінні за вмістом незамінних амінокислот, а саме: АК скор становить: за лізином — 62,8—67,7%, лейцином — 254,2—260,1%, фенілаланіном — 222,4—223,1% та метіоніном — 115,0—120,3%.

4. Перетравлюваність вуглеводів макаронних виробів з кукурудзяного і пшеничного борошна суттєво не відрізняється за кількістю редуруючих речовин. Зразки з ксантаном та з екструдованим кукурудзяним борошном, перетравлюються в 1,2 раза швидше порівняно з іншими зразками.

5. Перетравлюваність білкових речовин безглютенових макаронних виробів в 1,5 раза вища за кількістю продуктів пепсинового протеолізу та в 1,8—2,0 разів вища на трипсинової стадії гідролізу порівняно з іншими зразками. Білки макаронних виробів з желатином гідролізуються дещо гірше, ніж зразки з СЯБ, проте краще, ніж пшеничні. Таким чином, перетравлюваність

білкових речовин є вищою для розроблених безглютенових макаронних виробів, що зумовлює їх кращу засвоюваність.

### Література

1. *Корячкина Р.Я.* Функциональные пищевые ингредиенты и добавки для хлебобулочных и кондитерских изделий / Р.Я. Корячкина, Т.В. Матвеева // Санкт-Петербург : ГИОРД. — 2013. — 528 с.
2. *Шнейдер Д.В.* Безбелковые и безглютеновые смеси для выпечки / Д.В. Шнейдер, Н.К. Казеннова // Хлебопечение России. — 2008. — № 1. — С. 23—24.
3. *Gallagher E.* Gluten-free Food Science and Technology / E. Gallagher // Wiley-Blackwell. — 2009. — P. 5—6.
4. *Menrad K.* Market and Marketing of Functional Food in Europe / K. Menrad // Journal of Food Engineering. — 2003. — Vol. 56. — # 2—3. — P. 181—188.
5. *Яхтанигова Ж.М.* Химический состав и питательная ценность зерна и листостебельной массы различных подвидов кукурузы / Ж.М. Яхтанигова // Новые технологии. — 2008. — Вып. 5. — С. 58—62.
6. *Рожно О.В.* Створення безглютенових макаронних виробів сприятиме забезпеченню населення України дієтною продукцією / О.В. Рожно, В.Г. Юрчак // Хлебный и кондитерский бизнес. — Київ : ООО «Компания БИОПРОМ» — 2016. — № 10. — С. 27—28.
7. *Rozhno O.* The Influence of methods of making structurants on the quality of gluten-free pasta / O. Rozhno, O. Podobiy, V. Yurchak // 8th Central European Congress on Food 2016 — Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts. — 23—26 May 2016. — Kyiv : NUFT. — 2016. — P. 143.
8. *Rozhno O.* Research of the Rheological Properties of Gelatine Solutions for Production of Gluten-Free Pasta / O. Rozhno, O. Podobiy, V. Yurchak // Ukrainian food journal. — Vol. 5. — Issue 2. — Kyiv : NUFT. — 2016. — P. 290—298.
9. Патент 113395 UA, МПК A23L 7/109 (2016.01) Спосіб виготовлення макаронних виробів / Юрчак В. Г., Рожно О. В. — № u201607670 ; заявл. 12.07.2016 ; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
10. Патент 113396 UA, МПК A23L 7/109 (2016. 01) Спосіб виготовлення макаронних виробів / Юрчак В.Г., Рожно О.В. — № u201607672 ; заявл. 12.07.2016 ; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.
11. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навч. посіб. / за ред. В.І. Дробот // Київ : Кондор. — 2015. — 972 с.
12. *Покровский А.А.* Атакуемость белка пищевых продуктов протеолитическими ферментами in vitro / А.А. Покровский, И.Д. Ертанов // Вопросы питания. — 1965. — № 3. — С. 38—44.



УДК 664.665

## THE INFLUENCE OF STRUCTURE FORMING FOOD ADDITIVES ON THE QUALITY OF GLUTEN-FREE BREAD MADE FROM THE MIXTURE OF RICE AND CORN FLOUR

V. Drobot, L. Mykhonik, A. Gryschenko  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Celiac disease*  
*Gluten-free bread*  
*Recipe compositions*  
*Rice flour*  
*Corn flour*  
*Hydrocolloids*  
*Bread quality*

**Article history:**

Received 08.11.2017  
Received in revised form  
22.11.2017  
Accepted 13.12.2017

**Corresponding author:**

V. Drobot  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-21

---

**ABSTRACT**

It is necessary to use structure forming food additives to ensure the viscous-plastic properties of the dough and its gas-holding ability in the technology of gluten-free bread. The article is devoted to the study of the influence of xanthan gum, carboxymethylcellulose (CMC) and hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) on the quality of gluten-free bread from a mixture of rice and corn flour. According to the results of laboratory baking of gluten-free bread, it is established, that the best quality of the products by loaf volume, surface of the bread and porosity structure is provided by adding a mixture of xanthan gum and HPMC in a ratio of 0.5: 1 when adding 1.0...1.5% to the flour mass.

## ВПЛИВ СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧІВ НА ЯКІСТЬ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛІБА ІЗ СУМІШІ РИСОВОГО ТА КУКУРУДЗЯНОГО БОРОШНА

В.І. Дробот, Л.А. Михонік, А.М. Грищенко  
*Національний університет харчових технологій*

*Використання добавок структуроутворювальної дії в технології безглютенового хліба обумовлено необхідністю забезпечення в'язко-пластичних властивостей тіста та його газоутримувальної здатності. Стаття присвячена дослідженню впливу камеді ксантану, карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та гідроксипропілметилцелюлози (ГПМЦ) на показники якості безглютенового хліба з суміші рисового та кукурудзяного борошна. За результатами пробних лабораторних випікань безглютенового хліба встановлено, що найкраща якість виробів за об'ємом, станом поверхні та структурою пористості забезпечується додаванням суміші камеді ксантану та ГПМЦ у співвідношенні 0,5:1 за дозування 1,0—1,5% до маси борошна.*

**Ключові слова:** *целиакія, безглютеновий хліб, рецептурні композиції, рисове борошно, кукурудзяне борошно, гідроколоїди, якість хліба.*

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поряд з традиційними хлібобулочними виробами, в Україні поширюється виробництво хлібобулочних виробів цілеспрямованої функціональної дії, в тому числі і дієтичних, що рекомендовані для споживання людям з певним видом захворювання. До таких виробів відносять безглютенові вироби, які призначені хворим на целиакію.

Целиакія — це патологічний стан, при якому у кишечнику хворого не розщеплюється та не засвоюється білок глютен, що міститься в деяких злаках (пшениця, жито, ячмінь, тритікале). При цьому в кишечнику накопичуються токсини, які ушкоджують клітини слизової оболонки. Для лікування цього захворювання і профілактики ускладнень необхідне дотримання безглютенової дієти [1; 2].

Варто зазначити, що споживачами продукції «Gluten free» є не тільки хворі на целиакію, а й люди, які не мають цієї хвороби. Сьогодні в мережі Internet створено безліч сайтів з кулінарними рецептами для приготування безглютенових страв, в тому числі хлібних і кондитерських виробів. Безглютенова дієта стає популярною навіть серед людей, які не хворіють на целиакію. Деякі дієтологи стверджують, що надлишок глютену в організмі погіршує роботу кишечника і засвоєння макро- та мікронутрієнтів, тому обмеження споживання глютенівмісних продуктів сприяє загальному оздоровленню організму, запобігає розвитку деяких хвороб [3—5]. У науковій літературі зустрічаються різні думки з цього питання, вивчення його продовжується, проте чисельність прихильників безглютенових продуктів харчування постійно зростає. В Україні сегмент ринку цих продуктів недостатньо розвинений і представлений, в основному, імпортною продукцією, яка має досить високу вартість.

Оскільки хлібні вироби належать до основних продуктів харчування, необхідно постійно розширювати їх асортимент, задовольняючи потреби населення в оздоровчих і дієтичних výroбах. Розробкою технології безглютенового хліба займаються в Україні та за кордоном. Вчені Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка запропонували виробництво безглютенових бездріжджових хлібних виробів з кукурудзяного та рисового борошна у співвідношенні від 50:50 до 30:70 відповідно, з використанням для розпушення тіста гідрокарбонату натрію та інтенсивної механічної обробки [6]. Також у цій установі розроблена технологія хлібобулочних виробів на основі безглютенових борошняних сумішей з використанням як структуроутворювачів колагеновмісних білків і фермента трансглютамінази [7]. За результатами досліджень, проведених у науководослідному Інституті продовольчих ресурсів, встановлено, що фермент трансглютаміназа також забезпечує якість виробів з високими споживчими властивостями у разі сумісного використання з сухим яечним альбуміном, або сухою молочною сироваткою [8].

У Національному університеті харчових технологій розроблено та затверджено рецептури безглютенового хліба, до складу яких включено кукурудзяний і картопляний крохмалі, рисове, гречане і кукурудзяне борошно, добавки структуроутворювальної дії (камеді гуару і ксантану). Встановлено, що

борошно круп'яних культур доцільно вносити в кількості 20—30% замість маси крохмалю. Збільшення дозування борошна призводить до різкого зменшення об'єму виробів і погіршення стану м'якушки [9].

Для виготовлення безглютенових хлібних виробів дозволяється використовувати продукти переробки таких культур, як рис, гречка, кукурудза, пшоно, сорго, амарант. У невеликих кількостях використовують продукти переробки бобових (сої, гороху, квасолі, люпину) та олійних (соняшнику, льону, кунжуту, ріпаку) культур, а також горіхову сировину [1]. Як правило, в рецептурі виробів включають кукурудзяний, картопляний, рисовий, тапіоковий крохмалі або їх суміші. Кількість крохмалю в рецептурі становить в межах 50...90% від маси сипкої сировини, що дає змогу отримати хліб більш «легким», з кращим об'ємом та структурою пористості м'якушки, але значно знижує його харчову цінність. Оскільки вищезазначені види сировини, на відміну від пшеничного борошна, не містять білків клейковини, в тісто додають структуроутворювачі (різноманітні гідроколоїди): камеді рослинного і мікробного походження, пектин, желатин, агар-агар, альгінати, модифіковану целюлозу (КМЦ і ГПМЦ), карагегани,  $\beta$ -глюкан тощо. Ці речовини підвищують в'язкість тіста, завдяки чому підвищується його газоутримувальна здатність [10]. У рецептурах виробів може бути використана одна речовина або декілька у різному співвідношенні, що по-різному впливають на якість готової продукції. Якість виробів також залежить від складу крохмале-вмісної, білоквмісної сировини, наявності цукру, жиру тощо.

Вченими досліджено вплив альгінату натрію, натрій-КМЦ, модифікованого крохмалю, пектину цитрусового, камедей ксантану і гуару на якість безбілкового хліба. Встановлено, що найкращі органолептичні та фізико-хімічні показники у зразків хліба з додаванням 0,5% камеді ксантану до маси крохмалю [11]. Високу якість мають вироби з сумішею безглютенового борошна та крохмалів із сумісним використанням камеді ксантану і похідних целюлози [8].

Дані, наведені в праці [12], показують, що додавання 2% пектину, 1% карбоксиметилцелюлози та 1%  $\beta$ -глюканів покращує якість безглютенового хліба на основі рисового борошна, кукурудзяного крохмалю і казеїнату натрію за показником пористості, та подовжує тривалість збереження ним свіжості.

Науковці Афінського національного технічного університету [10] вивчали вплив ГПМЦ, камеді ксантану,  $\kappa$ -карагегану та гуарової камеді на реологічні характеристики тіста та показники якості хліба з суміші кукурудзяного крохмалю та рисового борошна. Додатки-гідроколоїди додавали в кількості 1%, 1,5% та 2% і встановили, що за органолептичними показниками найкращу якість мають вироби з додаванням 1,5% ГПМЦ.

Слід зазначити, що наведені вище результати досліджень проводили з рецептурними композиціями для виробництва безглютенового хліба на основі сумішею зі значним вмістом крохмалю (більше 50 % від маси сипкої сировини). Даних щодо використання структуроутворювачів та їх комбінацій для виробництва хліба з круп'яного борошна без додання крохмалю обмаль.

Для досліджень нами було обрано рисове та кукурудзяне борошно, які найчастіше використовують у технології безглютенового хліба. За хімічним

складом ці види борошна доповнюють один одного і при сумісному використанні дають змогу отримувати вироби зі збалансованим вітамінним і мінеральним складом.

**Метою дослідження** є вивчення впливу КМЦ і ГПМЦ на показники якості безглютенового хліба з суміші рисового та кукурудзяного борошна; визначення оптимального дозування цих структуроутворювачів та їх комбінацій для забезпечення високих споживчих властивостей виробів за об'ємом, станом поверхні і м'якушки.

**Матеріали і методи.** Матеріали дослідження — рецептурні композиції для приготування безглютенового хліба з суміші рисового і кукурудзяного борошна з різними структуроутворювачами; тісто та хліб, виготовлені з вищезазначеної сировини.

Методи досліджень — органолептичні, хімічні, фізико-хімічні, загальноприйняті і спеціальні, виконані з використанням сучасних приладів та інформаційних технологій.

**Результати і обговорення.** Для обґрунтування складу борошняної основи та визначення кращого рецептурного складу на початку досліджень вивчали органолептичні показники безглютенового хліба. Випікали хліб з кукурудзяного, рисового борошна, а також з їх суміші у співвідношенні 50:50 без додавання крохмалю. Додавали 0,5% камеді ксантану до маси борошна для забезпечення в'язкості тіста та його газоутримувальної здатності. Було встановлено, що всі зразки незначно відрізняються за питомим об'ємом, який становив для хліба з кукурудзяного борошна —  $185 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , з рисового борошна —  $192 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , з суміші —  $190 \text{ см}^3/\text{г}$ . Всі зразки мали нерівномірну пористість, з рисового борошна — товстостінну, з кукурудзяного та з суміші — тонкостінну. При розжовуванні хліб з кукурудзяного борошна мав жорстку, а хліб з рисового — липку м'якушку. З суміші цих видів борошна м'якушка була більш еластична і не липка. Смак хліба з суміші також був більш приємним, не відчувалось яскраво вираженого присмаку рисового або кукурудзяного борошна, характерного для виробів, виготовлених лише з одного з цих видів борошна.

Отже, за базову борошняну основу для приготування безглютенового хліба нами було обрано суміш рисового та кукурудзяного борошна у співвідношенні 50:50 з додаванням дріжджів пресованих, солі, цукру, олії соняшникової та структуроутворювачів — камеді ксантану, КМЦ, ГПМЦ та їх комбінацій. Гідроколоїди вносили в кількості 0,5...1,0% до маси борошна. Дозування обирали згідно з рекомендаціями виробників добавок і даними, наведеними в літературі. Тісто готували безопарним способом без бродіння, поділяли на заготовки, розкладали їх у форми і проводили остаточне вистоювання за температури  $37 \pm 2^\circ \text{C}$  до готовності та випікали за температури  $210\text{—}220^\circ \text{C}$ .

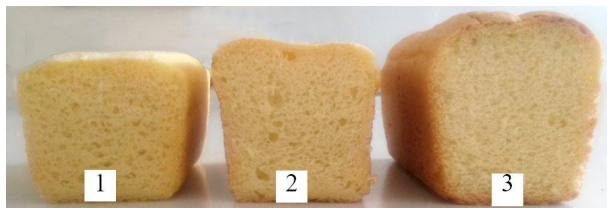
Дані таблиці показують, що вироби з доданням похідних целюлози мають кращий об'єм, але гірший стан поверхні, ніж вироби з камеддю ксантану. Збільшення дозування гідроколоїдів, за винятком камеді ксантану, призводить до зростання об'єму виробів і показника пористості. Додавання ксантану більше 0,5% до маси борошна не тільки зменшує об'єм, а й ущільнює м'якушку, пористість стає нерівномірною й товстостінною. Вироби з ГПМЦ

характеризуються значно більшим об'ємом та дрібною, рівномірною, тонкостінною структурою пористості, але, як і вироби з КМЦ, мають пласку поверхню з тріщинами.

*Таблиця. Показники якості безглютенового хліба із суміші рисового та кукурудзяного борошна*

Показник	Внесено добавок, % до маси борошна								
	Камедь ксантану			КМЦ			ГПМЦ		
	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0	0,5	0,75	1,0
Питомий об'єм, см <sup>3</sup> /100 г	190	185	170	195	209	220	210	237	265
Пористість, %	61	57	48	62	63	64	63	65	68
Колір скоринки	Жовто-коричневий			Жовтий			Світло-жовтий		
Стан поверхні	Гладка, без тріщин			Нерівна, пласка, з крупними тріщинами на поверхні			Нерівна, пласка, з дрібними тріщинами на поверхні		
Колір м'якушки	Кремове-жовтий								
Структура пористості м'якушки	Середня, нерівномірна, тонкостінна	Крупна, нерівномірна, товстостінна		Крупна, нерівномірна, товстостінна	Середня, нерівномірна, тонкостінна		Середня, нерівномірна, тонкостінна	Дрібна, рівномірна, тонкостінна	
Смак	Присмний, з незначним присмаком кукурудзи								
Запах	Присмний, властивий даному виду виробів								

У подальших дослідженнях визначали вплив сумісного внесення гідроколідів на показники якості безглютенового хліба. Готували суміші «ксантан : КМЦ» та «ксантан : ГПМЦ» у співвідношенні 0,5:1; 1:1 та 1:0,5.

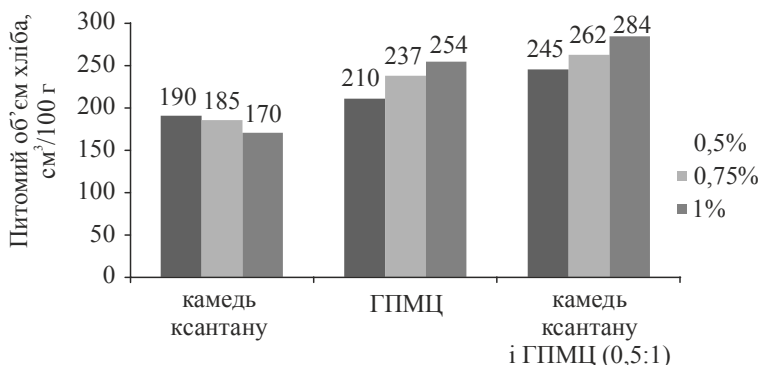


**Рис. 1. Хліб із суміші рисового і кукурудзяного борошна з внесенням 0,5 % структуроутворювачів:**

1 — камедь ксантану, 2 — ГПМЦ, 3 — камедь ксантану і ГПМЦ у співвідношенні 0,5:1

Під час серії пробних випікань встановлено, що вироби із сумісним внесенням ксантану і похідних целюлози у співвідношенні 0,5:1 і 1:1 мають добре розвинену, тонкостінну пористість м'якушки, а також більший об'єм, ніж вироби з одним із видів структуроутворювачів (рис. 1).

Найкращу якість за показниками, наведеними в табл. 1, мають вироби з сумішшю «ксантан:ГПМЦ» у співвідношенні 0,5:1. При чому чим більше додається цієї композиції структуроутворювачів, тим вищі значення питомого об'єму та показника пористості (рис. 2).



**Рис. 2. Вплив структуроутворювачів на об'єм хліба**

Вищезазначену композицію структуроутворювачів доцільно дозувати в кількості до 1,5% до маси борошна. Збільшення дозування призводить до появи кристалічного блиску на поверхні виробів і неприємного післясмаку.

### **Висновки**

Отже, результати досліджень показали, що для виготовлення безглютенового хліба з суміші рисового та кукурудзяного борошна доцільно використовувати комбінацію структуроутворювачів ксантан : ГПМЦ у співвідношенні 0,5:1 в кількості 1—1,5% до маси борошна. Це забезпечує одержання виробів з гарним об'ємом, гладкою поверхнею, добре розвинутою, рівномірною та тонкостінною структурою пористості м'якушки.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на пошук технологічних заходів щодо покращення смаку й аромату виробів, подовження тривалості збереження ними свіжості.

### **Література**

1. Наумова О.А. Особенности питания больных целиакией / О.А. Наумова // Сучасні медичні технології. — 2010. — № 2. — С. 124—127.
2. Yolanda S. Effects of a gluten-free diet on gut microbiota and immune function in healthy adult humans / S. Yolanda // Gut Microbes. — 2010. — V. 1(3)— P. 135—137 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4161/gmic.1.3.11868>.
3. Perlmutter D. Grain brain : the surprising truth about wheat, carbs, and sugar — your brain's silent killers / D. Perlmutter, K. Loberg. — London, Hodder & Stoughton, 2014. — 323 p.
4. Gluten-free diet reduces adiposity, inflammation and insulin resistance associated with the induction of PPAR-alpha and PPAR-gamma expression. / F.L. Soares, R. de Oliveira Matoso, L.G. Teixeira et al. // J. Nutr. Biochem. — 2013. — Vol. 24(6). — P. 1105—1111.
5. Gluten-free diet [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.mayoclinic.org/healthy-lifestyle-nutrition-and-healthy-eating/in-depth/gluten-free-diet>.
6. Шаніна О.М. Обгрунтування складу борошняної сировини в технології безглютенового бездріжджового хліба / О.М. Шаніна, І.В. Галясний, Н.Л. Лобачова // East European

Scientific Journal. — № 4, 2015. — С. 56—60 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://eesa-journal.com/wp-content/uploads/2017/01/EESJ\\_4\\_21.pdf](http://eesa-journal.com/wp-content/uploads/2017/01/EESJ_4_21.pdf).

7. Патент 86050 Україна, МПК А21D 10/00 (2006.01). Спосіб виробництва безглютенового хліба / Шаніна О.М., Лобачова Н.Л., Гавриш Т.В.; заявник та патентовласник Харківський національного технічного університету сільського господарства Ім. П. Василенка. — № u201307689; заявл. 17.06.2013 р.; опубл. 10.12.2013.; Бюл. № 23, 2013 р.

8. Semenova A. Gluten-free bakery products / A. Semenova, Ju. Prikhodko // 8th Central European Congress on Food 2016 — Food Science for Well-being (CEFood 2016), 23—26 May 2016 р. : Book of Abstracts. — Kyiv : NUFT, 2016. — P. 146.

9. Грищенко А.М. Удосконалення технології хліба з безглютенової сировини : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Грищенко Анна Миколаївна. — Київ. — НУХТ, 2011. — 20 с.

10. Sabanis D. Effect of dietary fiber enrichment on selected properties of gluten—free bread / D. Sabanis, D. Lebesi and C. Tzia // LWT — Food Science and Technology. — October 2009. — Volume 42. — Issue 8. — P. 1380—1389.

11. Кучерук Е.С. Влияние ксантановой камеди на свойства «муки безбелковой» / З.И. Кучерук, Е.С. Цуканова // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. — 2014. — № 2(5). — С. 51—53.

12. Lazaridou A. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations / A. Lazaridou, D. Duta, M. Papageorgiou, N. Belc, C.G. Biliaderis // Journal of Food Engineering. — 2007. — Vol. 79(3). — P. 1033—1047.

## STUDY OF CRYOPROTECTORAL PROPERTIES OF FOOD FIBERS IN THE COMPOSITION OF MEAT PHARMACEUTICALS SYSTEMS

O. Skochko, I. Kyshenko

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Food fibers  
Cryoprotectants  
Meat stuffing systems  
Deep freezing  
Water activity*

---

**Article history:**

Received 07.11.2017  
Received in revised form  
24.11.2017  
Accepted 22.12.2017

---

**Corresponding author:**

O. Skochko  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

As new and emerging nutritional claims appear on the market, understanding of the functionality of these ingredients is especially important, as there are no standard recommendations for their use. The article presents the results of studying the functional and technological properties of dietary fiber of plantain in comparison with wheat fiber for using in the technology of deep-frozen and long-term stored semifinished products. The mechanism of cryoprotective action of dietary fibers in meat forages systems involves the formation of an amorphous structure in the middle of the product, with decrease of number of crystallization centers and decrease of water activity, which positively affects on the preservation of the dense structure of semi-finished products after 30 days of storage in the frozen state and promotes obtaining high quality products.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-22

---

## ВИВЧЕННЯ КРІОПРОТЕКТОРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХАРЧОВИХ ВОЛОКОН У СКЛАДІ М'ЯСНИХ ФАРШЕВИХ СИСТЕМ

О.І. Скочко, І.І. Кишенько

Національний університет харчових технологій

*Оскільки на ринку з'являються все нові і нові пропозиції харчових волокон, особливо важливим є розуміння функціональних можливостей цих інгредієнтів, тому що стандартних рекомендацій щодо їх використання не існує. У статті наведено результати вивчення функціонально-технологічних властивостей харчових волокон подорожника порівняно з пшеничною клітковиною з метою використання в технології посічених напівфабрикатів глибокого заморожування і тривалого зберігання. Механізм кріопротекторної дії харчових волокон у м'ясних фаршевих системах пов'язаний з утворенням аморфної структури всередині продукту і зменшенням кількості центрів кристалізації та зі зниженням активності води, що позитивно впливає на*



*збереження щільної структури напівфабрикатів після 30 діб зберігання в замороженому стані і сприяє отриманню продуктів високої якості.*

**Ключові слова:** харчові волокна, кріопротектори, м'ясні фаршеві системи, глибоке заморожування, активність води.

**Постановка проблеми.** Відсутність будь-якого термічного і хімічного оброблення робить спосіб кріоконсервування екологічно-безпечним способом, що абсолютно не погіршує біохімічні властивості та чистоту харчових продуктів. Інтенсивність і характер змін м'яса та м'ясних продуктів при заморожуванні залежить від умов і параметрів процесу, а також від якісних характеристик сировини. Специфіка складу й будови м'ясної сировини, особливості та взаємозв'язок фізико-хімічних і біохімічних процесів, що відбуваються в ній, суттєво впливають на збереження властивостей м'яса і м'ясних напівфабрикатів при заморожуванні.

У той же час під час заморожування, з через пошкодження клітинних мембран порушується баланс окисно-відновних процесів у бік окиснювальних реакцій. Незважаючи на підтверджену ефективність, навіть дуже швидке заморожування м'ясної сировини і м'ясних напівфабрикатів без додавання речовин кріопротекторної дії може призвести до незворотних структурно-функціональних змін клітинної й тканинної структур системи. Водночас процес розморожування супроводжується не тільки втратою вологи, але разом з нею й поживних речовин. Тому сучасне виробництво заморожених м'ясних напівфабрикатів потребує розроблення наукових підходів і методів кріозахисту м'ясних фаршевих систем від впливу низьких температур.

Проте кріопротектори, які сьогодні використовуються у харчовій промисловості, не здатні ефективно зв'язати вологу у м'ясних фаршевих системах з підвищеним вологовмістом і зниженим вмістом жиру. Водночас підбір кріопротекторів для різних м'ясних систем необхідно здійснювати окремо, залежно від їх складу та функціонально-технологічних властивостей.

**Мета статті:** дослідити кріопротекторні властивості пшеничної клітковини як найбільш поширеної на ринку України та клітковини подорожника, використання яких дасть змогу знизити кріоскопічну температуру і запобігатиме суттєвому кристалоутворенню та уповільненню перебігу процесу заморожування.

**Методи і обладнання.** При визначенні органолептичних, фізико-хімічних показників модельних фаршевих м'ясних систем використовували стандартні методи досліджень.

Структурно-механічні показники визначали на пенетрометрі Ulab3-31M. Пенітрацію посічених навіфабрикатів визначали за глибиною занурення індентора у дослідний зразок за температури 20° С. Проводили три вимірювання на відкритій поверхні зразка на відстані не менше 10 мм від краю виробу і на максимальній відстані від точок інших вимірювань, щоб деформована частина поверхні не увійшла в зону вимірювання, після чого проводили перерахунок значення пенетрації у значення пенетраційної напруги.

Показник активності води  $a_w$  модельних фаршевих систем та м'ясних посічених напівфабрикатів визначали за допомогою аналізатора rotronic Hygro Palm-23.

Вимірювання криоскопічної температури модельних фаршевих систем і м'ясних посічених напівфабрикатів проводили методом термічного аналізу, що базується на побудові кривих зміни температури у часі.

Обидва види клітковини додавали до складу модельних фаршевих систем, виготовлених на основі односортної яловичини (50%) та напівжирної свинини (50%), та здійснювали часткову заміну основної сировини на ізоляти харчових волокон. За контроль було обрано м'ясну фаршеву систему без вмісту харчових волокон. Отримані зразки фаршу піддавали перемішуванню за температури 12° С протягом 15 хв, формували у вигляді котлет і заморожували за температури мінус 18° С. Тривалість зберігання за зазначеної температури становила 30 діб. У всіх зразках до заморожування, після розморожування й термічного оброблення визначали органолептичні, фізико-хімічні, функціонально-технологічні, структурно-механічні показники, а також показник активності води  $a_w$  та значення криоскопічної температури.

**Результати і обговорення.** Середньостатистичні дані результатів досліджень властивостей модельних м'ясних фаршів з додаванням харчових волокон замість рівноцінної частки нежирної основної сировини (яловичини) представлено в табл. 1 та 2. Аналіз даних табл. 1 та 2 дає змогу стверджувати, що для всіх зразків м'ясних модельних систем, які містять харчові волокна, характерні загальні тенденції зміни функціонально-технологічних властивостей.

*Таблиця 1. Функціонально-технологічні і структурно-механічні властивості модельних фаршів із рослинною клітковиною (n = 3, P = 0,95)*

Кількість клітковини, %	Показник рН		Вологозв'язуюча здатність, %		Пластичність, см/г		Граничне напруження зсуву, Па	
	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника
0	5,8	5,8	51,9	51,9	6,0	6,0	1069,25	1069,11
1	5,9	6,0	56,9	71,3	6,1	6,9	1061,30	1058,15
2	5,9	6,1	61,3	72,8	6,2	7,0	1053,12	1049,57
3	5,9	6,1	60,6	74,8	6,2	7,0	1052,12	1046,12

*Таблиця 2. Функціонально-технологічні властивості термооброблених модельних фаршів із рослинною клітковиною після 30 діб зберігання за температури мінус 18° С (n = 3, P = 0,95)*

Кількість клітковини, %	Вихід, %		Вологоутримуюча здатність, % до загальної вологи		Пластичність, см <sup>2</sup> /г		Граничне напруження зсуву, Па	
	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника
0	65,3	65,7	48,7	48,7	5,1	5,7	4556,82	5049,11
1	68,4	70,6	62,8	74,1	5,1	5,8	6516,30	78054,15
2	70,8	74,8	66,5	76,7	5,2	5,9	7463,12	8969,57
3	70,6	74,9	66,2	78,4	5,3	5,9	7539,9	9326,12

До заморожування та після термічного оброблення, порівняно з контрольними зразками, збільшується вологов'язуюча здатність (ВЗЗ) у м'ясних системах, які містять 2% пшеничної клітковини та клітковини подорожника — на 9,4% та 20,9% відповідно, та вологоутримуюча здатність (ВУЗ) — на 17,8% та 28,8% відповідно. Показники граничного напруження зсуву (ГНЗ) при збільшенні вмісту харчових волокон зменшуються, а після термічного оброблення зростають. Ймовірно, це пояснюється тим, що у контрольному зразку при заморожуванні та подальшому термічному обробленні втрачається більша кількість вологи, змінюється конформація білків, унаслідок чого система стає більш жорсткою. М'ясні модельні фаршеві системи, що містять харчові волокна, внаслідок кращого зв'язування ними вологи мають, відповідно, більш ніжню консистенцію [1; 2].

Важливим технологічним показником є вихід продукту. Визначення втрат при термічному обробленні модельних фаршів показало, що більший вихід мають усі розроблені зразки за рахунок використання харчових волокон, а найкращий вихід мають зразки з використанням 2% харчових волокон подорожника. Збільшення виходу дослідних зразків можна пояснити кращим утриманням у процесі нагрівання мобілізованої вологи за рахунок капілярного ефекту властивому харчовим волокнам [1—3].

Відомо, що чим менше вологи в продукті, тим нижча початкова криоскопічна температура. Зв'язок між кількістю вимороженої води й температурою зберігання залежить також від вмісту вологи в м'ясі, оскільки він впливає на склад тканинного соку та його розподіл. Отже, кількість вимороженої води слід вважати функцією температури, складу та структури продукту, а тому додавання харчових волокон у м'ясні фаршеві системи приводить до зменшення кількості вимороженої вологи (табл. 3).

**Таблиця 3. Втрати маси термооброблених модельних фаршів з рослинною клітковиною ( $n = 3, P = 0,95$ )**

Втрати маси, % під час	Вміст клітковини, %							
	0		1		2		3	
	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника	пшенична	подорожника
теплого оброблення до заморожування	29,3	29,3	26,2	25,1	23,1	22,3	24,0	22,1
заморожування	2,6	2,6	2,1	2,0	1,9	1,7	1,9	1,7
теплого оброблення після заморожування	33,6	33,4	29,4	27,9	25,8	24,5	26,6	24,2

Аналіз результатів дослідження масової частки вимороженої води у модельних м'ясних фаршевих системах свідчить, що найбільшу масову частку вимороженої вологи має контрольний зразок — 2,6%. Далі її частка зменшується зі збільшенням кількості доданої клітковини: з додаванням пшеничних волокон на 1,9 %, клітковини подорожника — 1,7%.

Вода в м'ясних системах є середовищем для активного перебігу процесів біохімічного псування і тому консервуюча дія заморожування направлена на

зниженні активності води  $a_w$ . При малих значеннях активності води волога більш зв'язана у м'ясних системах і тому менш доступна для перебігу хімічних реакцій та розвитку мікроорганізмів, що сприяє подовженню терміну їх зберігання [1; 4—7].

Внесення вищезазначених речовин як кріопротекторів у модельні фаршеві системи позитивно вплинуло і на зниження показника активності води  $a_w$  на 0,027—0,033 при використанні пшеничної клітковини та на 0,027—0,036 — при використанні клітковини подорожника, після 30 діб зберігання.

Зниження активності води в дослідних зразках можна пояснити підвищенням концентрації розчинних речовин у м'ясному соку, що обумовило зниження температури початку кристалізації вологи у м'ясних фаршевих системах і, відповідно, зміну характеру зростання кристалів льоду в клітинній структурі м'язової тканини [4—6].

Значення кріоскопічної температури для дослідних зразків становило: для контрольного — ( $-2,75^\circ \text{C}$ ), для зразка № 1 — ( $-3,84^\circ \text{C}$ ), для зразка № 2 — ( $-4,56^\circ \text{C}$ ).

При заморожуванні, зберіганні, розморожуванні й термічному обробленні у посічених напівфабрикатах спостерігалось незначне зниження величини рН на 0,02—0,04 відносно початкового рівня рН унаслідок розпаду глікогену, що залишився у м'ясі до заморожування й утворення молочної кислоти.

Серед усіх дослідних зразків термооброблених м'ясних фаршевих систем найбільші зміни органолептичних показників якості (після заморожування, зберігання протягом 30 діб і розморожування) спостерігались у контрольних зразках, що характеризувалися недостатньою соковитістю, крихкістю структури, меншим виходом і більш високими на 2,9—3,1% втратами при термообробленні. Проте дослідні зразки мали підвищену соковитість і більш щільну консистенцію.

Слід зазначити, що при збільшенні кількості внесення харчових волокон більше 2% спостерігається зниження функціонально-технологічних показників м'ясних фаршевих систем, хоча вони залишаються на досить високому рівні, що необхідно враховувати при їх практичному застосуванні.

### Висновки

Отримані результати підтверджують доцільність використання харчових волокон у кількості 2% як речовин, дії яких направлених на кріозахист м'ясних фаршевих систем від впливу низьких температур.

Завдяки своїм гідрофільним властивостям пшенична клітковина та клітковина подорожника здатні знизити шкідливий вплив фізико-хімічних факторів і захистити м'ясні системи від деструкції клітин при кріоконсервуванні.

### Література

1. Рогов И.А. Химия пищи. Кн. 1 (Белки: структура, функции, роль в питании) / И.А. Рогов. — Москва : КолосС, 2007. — 853 с.
2. Салаватулина Р.М. Рациональное использование сырья в колбасном производстве / Р.М. Салаватулина. — Санкт-Петербург : ЗАО Торговый дом Георг, 2005. — 236 с.

3. *Фейнер Г.* Мясные продукты. Научные основы, технологии, практические рекомендации / Г. Фейнер; пер. с англ. Н.В. Магды. — Санкт-Петербург : Профессия, 2010. — 720 с.

5. *Кишенько І.І.* Оцінка впливу речовин кріопротекторної дії на показники якості посічених напівфабрикатів / І.І. Кишенько, О.І. Скачко// Харчова промисловість. — 2017. — № 21. — С. 89—94.

6. *Куцакова В.Е.* Холодильная технология пищевых продуктов. Часть III. Биохимические и физико-химические основы / В.Е. Куцакова, А.В. Бараненко, Т.Е. Бурова, М.И. Кременевская. — Санкт-Петербург : ГИОРД, 2011. — 272 с.

7. *Сязин И.Е., Касьянов Г.И.* Феномен криообработки продуктов. — Монография. — Саарбрюккен, Германия : Palmarium Academic Publishing, 2012. — 296 с.

8. *Касьянов Г.И.* Инновационные технологии криообработки сельскохозяйственного сырья: монография / Г.И. Касьянов, О.И. Квасенков, И.Е. Сязин., А.В. Кочерга. — Краснодар : Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2013. — 147 с.

## DEVELOPMENT OF A COMPLEX PROTEIN-MINERAL-CARBOHYDRATE SUPPLEMENT BASED ON ANIMAL PROTEINS

L. Peshuk, O. Gorbach

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Meat products  
Chitosan  
Protein-mineral-  
carbohydrate additive  
Animal proteins  
Serum protein  
concentrate  
Amino acid composition*

---

**Article history:**

Received 10.11.2017  
Received in revised form  
29.11.2017  
Accepted 21.12.2017

---

**Corresponding author:**

L. Peshuk  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

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

---

---

**ABSTRACT**

In the article, there were reviewed and conducted a comparative analysis of the amino acid composition of dietary supplements (animal protein, whey protein concentrate) and developed complex protein-mineral-carbohydrate additive using animal protein from natural pig meat, milk whey, chitosan, calcium chloride. The parameters of amino acid balance were set in order to determine the possibility of using secondary raw material as an additive to minced meat and target products. Results of the biological value of the developed protein-mineral-carbohydrate additive confirm the expediency of its use in the technology of meat products, as a valuable ingredient for the equivalent replacement of meat raw material. Received data suggest that the essential amino acids in PMCA are fairly balanced, utilitarian (rational) factor of amino acid composition of the protein corresponds to the degree of protein use by organism in relation to the required physiologically normal.

## РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ БІЛКОВО-МІНЕРАЛЬНО-ВУГЛЕВОДНОЇ ДОБАВКИ НА ОСНОВІ БІЛКІВ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Л.В. Пешук, О.Я. Горбач

*Національний університет харчових технологій*

*У статті вивчено і проведено порівняльний аналіз амінокислотного складу харчових добавок (тваринного білка, концентрату сироваткового білка) і розробленої комплексної білково-мінерально-вуглеводної добавки з використанням тваринного білка з натуральної свинячої сировини, молочної сироватки, хітозану, хлористого кальцію. Встановлено параметри амінокислотної збалансованості з метою визначення можливості використання вторинної сировини як добавки до м'ясних фаршів і цільових продуктів. Результати біологічної цінності розробленої білково-мінерально-вуглеводної добавки підтверджують доцільність її використання в технології м'ясних виробів як повноцінного інгредієнта для рівноцінної заміни м'ясної сировини.*

*Отримані дані дають змогу стверджувати, що незамінні амінокислоти в БМВД достатньо збалансовані, коефіцієнт утилітарності (раціональності) амінокислотного складу білка відповідає ступеню використання даного білка організмом стосовно фізіологічно необхідної норми.*

**Ключові слова:** м'ясні продукти, хітозан, білково-мінерально-вуглеводна добавка, тваринні білки, концентрат сироваткового білка, амінокислотний склад.

**Постановка проблеми.** Підвищення цін на м'ясну сировину призвело до розвитку виробництва інгредієнтів, здатних стати альтернативою м'ясній сировині. Впровадження інноваційних технологій виробництва таких інгредієнтів необхідне для проходження на ринок вітчизняних добавок, виготовлених із вторинної сировини м'ясної та молочної галузей харчової промисловості.

У зв'язку з дефіцитом м'ясної сировини широке застосування отримали білки рослинного і тваринного походження. Ці добавки застосовують при виготовленні всіх видів м'ясних продуктів, в тому числі делікатесних, варено-копчених і сирокочених виробів. Це сприяє розширенню асортименту запропонованих добавок, покращенню їх функціональних властивостей і підвищенню рівня безпеки.

Враховуючи вимоги до рівня безпеки продукції, перевагу надають натуральним продуктам, зокрема препаратам тваринних білків, при виготовленні яких головним чином використовують процеси механічної і термічної обробки. Ці білки не містять антихарчових речовин, які знижують харчову цінність готового продукту. Видалення антихарчових речовин з рослинної сировини призводить не тільки до подорожчання білкових препаратів, але й до зниження їхніх функціональних властивостей.

Важливу роль у виробництві м'ясної продукції займають тваринні білки, які забезпечують виробничі показники і при грамотному використанні дають змогу вирішити проблеми, пов'язані з коливанням якості м'ясної сировини. Білки на основі тваринної сировини мають органолептичні властивості, характерні для м'яса.

Найбільш повноцінними є білки тваринного походження, які з успіхом використовуються для здорового та функціонального харчування. З рослинних білків — крупи з вмістом 6—16% білка, з яких найбільш цінними є білки гречаної крупи, вівса, рису, з бобових — сої. В овочах і фруктах міститься 1,2—1,5% білка. Необхідно, щоб білки були в правильному співвідношенні з іншими харчовими речовинами — вуглеводами, жирами, вітамінами. При нестачі цих складових посилюються процеси розщеплення білків. Найчастіше в м'ясній промисловості використовують соєві білки (ізоляти, концентрати, борошно). Соєві ізоляти мають нейтральний запах і смак, не мають спеціального кольору і при введенні в значній кількості з одночасним вилученням нежирного м'яса можуть знижувати інтенсивність кольору і зменшувати смак та аромат готових виробів. Тваринні білки характеризуються різноманітними функціональними властивостями, які вищі за рослинні. Вони відрізняються нейтральним смаком і запахом, що дає змогу вико-

ристовувати їх без обмежень для зміни смако-ароматичних властивостей. Не містять генетично модифікованих організмів, що підвищує довіру до них споживачів продукції. Все це забезпечує постійне розширення ринку тваринних білків і збільшення потужностей їх виробництва.

Дуже важливо розрізняти поняття тваринного білка як невід'ємного хімічного сполучення всіх живих організмів, з препаратом тваринного білка — технологічного інгредієнта м'ясних продуктів.

Залежно від виду використаної сировини тваринний білок можна класифікувати на:

- білки крові;
- яєчні білки, виділені із цільного яйця, із яєчного жовтка та із яєчного білка;
- молочні білки (сироваткові, казеїнати, виділені із незбираного молока);
- колагенові тваринні білки, виділені із свинячої шкурки, свинячого тримінга, яловичої шкурки, яловичого тримінга. Вони прості у використанні, зберігають свої властивості при тривалому зберіганні, забезпечують збільшення виходу готового виробу і, як наслідок, високу рентабельність виробництва.

Введення білків тваринного походження в рецептури покращують споживчі властивості готового продукту, підвищують технологічну стабільність м'ясних систем та економічні показники реалізованих продуктів.

Функціонально-технологічні властивості різних груп тваринних білків відрізняються один від одного і залежать від ряду факторів: виду і структури білка, технологічних умов (рН і температури середовища) тощо.

Молочні білкові препарати використовують у технології м'ясних продуктів у вигляді: сухого молока (незбиране або знежирене), сухої молочної сироватки, сироваткових білкових концентратів (вміст білка від 30 до 80%), казеїну або казеїнатів, а також суміші різних білкових складових молока.

Сухе молоко стало практично невід'ємною складовою рецептур ковбасних виробів преміум-класу. Призначення сухого молока — надання ніжної молочної нотки готовим виробам.

Казеїнат натрія рекомендують для використання в ковбасному виробництві від 1 до 4% через високі вологозв'язуючі і емульгуючі властивості. У чистому вигляді його використовуються досить рідко через високу собівартість і специфічний смак.

Сироваткові білкові концентрати з високим вмістом білка (70—80%) самостійно не проявляють яскраво виражених гелеутворюючих властивостей, але в м'ясних системах разом з іншими білковими складовими беруть участь у структуроутворенні, здатні підвищувати стабільність готового виробу. В комбінуванні з карагінанами молочні білки проявляють синергічні властивості, що позитивно впливає на покращення консистенції м'ясних продуктів. Використання білкових концентратів обумовлена тим, що вони поєднують високу вологов'язуючу здатність з високою розчинністю і низьким рівнем піноутворення.

Сировиною колагенових білків є шкурка і жилки. Основними амінокислотами в колагеновому білку є гліцин, пролін і оксипролін. Після термо-



обробки білок утворює міцні желеподібні гелі, що сприяють покращенню консистенції готової продукції, проте утворений гель не володіє термостабільністю і при повторній тепловій обробці (наприклад, варінні сосисок у воді) може плавитись. У сухій речовині міститься до 99% чистого волокнистого білка [8].

Переваги використання колагенвмісного білка: підвищення вологозв'язуючих властивостей м'ясних систем, збільшення виходу і покращення структурно-механічних характеристик готових виробів. Регламентовано використання 0,5—2% таких білків до маси готових виробів, проте вони знижують харчову цінність готових м'ясних виробів, оскільки колаген — не повноцінний тваринний білок, рівень гідратації колагенвмісних білків дуже високий — 1: 10—20.

Аналіз властивостей і призначення в м'ясній промисловості різних видів тваринних білків (колагенвмісних, молочних, крові, яєць) дає змогу достатньо повно розкрити їх переваги та недоліки. Завдяки своїй харчовій цінності і функціонально-технологічним властивостям тваринний білок є альтернативною соєвим білковим продуктам.

Аналіз літературних джерел показав, що, крім традиційної м'ясної сировини, доцільно використовувати інгредієнти як тваринного, так і рослинного походження, зокрема хітозану, для надання розробленому продукту функціональних властивостей і необхідної направленості [2].

Теоретичні дані по білкам тваринного походження і практичний досвід їх використання в технології м'ясних виробів показує, що доцільно застосовувати їх в поєднанні з полісахаридами (камеді, карагінани, модифіковані крохмалі), а також комбінувати з соєвими білками та полісахаридами.

Хітозан — полісахарид, харчове волокно тваринного походження. За своєю природою хітин є одним із трьох найбільш поширених полісахаридів, після целюлози і крохмалю. Він займає друге після целюлози місце як найбільш поширена органічна сполука на землі. Целюлоза і крохмаль є основними вуглеводнями, які використовуються рослинами як джерела живлення і для побудови клітинних стінок. Крім того, вони знайшли широке застосування в харчовій промисловості. Дослідники і підприємці вбачають такий самий потенціал для хітину. З хімічної точки зору целюлоза, крохмаль і хітин є полісахаридами — полімерами або великими молекулами, що складаються з молекул цукру меншого розміру, нанизаними разом, як перлини на нитку.

Значний інтерес до природного полімеру хітозану обумовлений, насамперед, наявністю у нього низки унікальних властивостей, таких як біосумісність, здатність до біодеструкції, нетоксичність, висока сорбційна ємність стосовно іонів металів [1]. Хітозан одержують шляхом лужної обробки хітину — одного з найбільш поширених у природі полісахаридів, що міститься в панцирах ракоподібних, креветок, кальмарів, водоростях, біомасі грибів, личинках мух. На сьогоднішні обсяги виробництва хітозану у світі складають 3500 т на рік. На відміну від інших полісахаридів, хітозан має у своєму складі первинну аміногрупу, що дає можливість створення на його основі широкого

спектру похідних при прийнятних умовах синтезу, а також надає йому властивостей хелатного полімеру [6].

Застосування хітозана в харчовій промисловості обумовлене його біологічною активністю, добрими емульгуючою, волоутримуючою і жирутримуючою здатністю (ВУЗ та ЖУЗ), а також властивістю покращувати реологічні характеристики харчової маси [3; 4].

Важливою властивістю цього полісахариду є його здатність взаємодіяти з білками, утворювати емульсії, гелі, виступати як стабілізатор і антиоксидант [2; 5].

На сьогодні більшість традиційних м'ясопродуктів в Україні не відповідають сучасним вимогам за показниками харчової та біологічної цінності, головним чином через використання в технологіях неякісної сировини та великої кількості різноманітних домішок із високою вологуютримувальною здатністю. Це є однією з причин відхилення харчового статусу населення від формули збалансованого харчування. Крім того, м'ясопродукти мають певну незбалансованість мінерального складу. Вони значно багатші фосфором, ніж кальцієм. У результаті надлишку фосфору в харчуванні утворюються розчинні солі кальцію, які вилучаються з кісткової тканини, що є причиною низки захворювань опорно-рухового апарату, нирок, серцево-судинної системи, тощо. Виходячи з цього, доцільним є використання м'ясних виробів як об'єктів збагачення біоорганічними сполуками кальцію. Оскільки найкраще засвоюваною та метаболічно активною формою кальцію є його комплекс із білком, одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є розробка добавок оздоровчого призначення на основі білково-мінерального комплексу й асортименту продуктів харчування з його використанням.

Джерелом легкозасвоюваного кальцію є хлористий кальцій (хлорид кальцію — харчова добавка E509).

Кальцію хлорид поповнює дефіцит кальцію в організмі. Кальцій бере участь у формуванні кісткової тканини, в процесі згортання крові та регулювання проникності судинної стінки, необхідний для підтримки стабільної серцевої діяльності та скорочення скелетних і гладких м'язів, здійснення процесів передачі нервових імпульсів і нормальної діяльності інших органів і систем. Бере безпосередню участь у переході протромбіну в тромбін, що прискорює зсідання крові.

Комплексне використання тваринних білків, харчових волокон і мінеральних сполук дасть змогу компенсувати негативні властивості окремих компонентів, що забезпечить раціональне використання м'ясної сировини, з гарантуванням високих органолептичних властивостей і низькою собівартістю готових м'ясних продуктів. Таким чином, з'явиться реальна можливість не тільки отримувати адекватний прибуток від роботи м'ясопереробних підприємств, але й задовольнити потреби споживачів в якісній продукції.

**Метою дослідження** є визначення збалансованості по амінокислотному складу розробленої білково-мінерально-вуглеводної добавки.

**Матеріали і методи.** Експериментальний етап дослідження полягав у вивченні характеристик сировини — вторинних продуктів переробки м'ясної та молочної галузей, вивченні їх органолептичних характеристик, хімічного

складу, енергетичної та біологічної цінності. Отримані дані використовували в розрахунках коефіцієнтів потенційної біологічної цінності, різниці амінокислотного скору, утилітарності (раціональності) амінокислотного складу білка, коефіцієнта надлишковості та індексу незамінних амінокислот.

Об'єкт дослідження — технологія комплексної білково-мінерально-вуглеводної добавки (БМВД). Предмет дослідження — колагеновий тваринний білок, концентрат сироваткового білка (КСБ), хітозан, хлористий кальцій, білково-мінерально-вуглеводна добавка. У процесі дослідження використовували хімічні, фізико-хімічні, біохімічні методи досліджень.

На основі отриманих показників для більш повної характеристики сировини й отриманої добавки були розраховані: амінокислотний скор, потенційна біологічна цінність (БЦп), коефіцієнт різниці амінокислотного скору (КРАС), коефіцієнт утилітарності (раціональності), коефіцієнт надлишковості ( $\sigma_{\text{над}}$ ) амінокислотного складу білка.

Для отримання зразків БМВД використовували тваринний білок з натуральної свинячої сировини, молочний білок з сироватки, хітозан і хлористий кальцій [7; 9].

**Результати і обговорення.** Важливе значення для забезпечення нашої країни повноцінним білком є ретельна переробка вторинної сировини білковмісних продуктів. Ученими світу вже інтенсивно досліджуються деякі біоактивні речовини, що виділяються з м'ясної сировини, — м'ясні пептиди. Білки м'яса, крім харчової цінності амінокислот, що їх формують, ще мають додаткову біологічну активність, а саме: антигіпертензивну, антиокислюючу, імуномодельючу, антимікробну, гіпохолестеролімічну, антитромболітичну та здатність зв'язувати мінеральні речовини.

З метою визначення можливості використання вторинної сировини як добавки до м'ясних фаршів і цільових продуктів нами вивчено і проведено порівняльний аналіз амінокислотного складу (табл. 1) харчових добавок і встановлено параметри амінокислотної збалансованості (табл. 2).

Харчова цінність білків визначається передусім їх амінокислотним складом. При його аналізі особливу увагу приділяють співвідношенню незамінних і замінних амінокислот. Тваринні та рослинні білки містять незамінні амінокислоти, але різну кількість. Тваринний білок з плазми крові є повноцінним, тому що містить всі незамінні амінокислоти. Білки колагену — неповноцінні. Соеві білки — збалансовані за амінокислотним складом стосовно еталонного білка, але мають у недостатній кількості сірковмісні амінокислоти.

*Таблиця 1. Порівняльний аналіз амінокислотного складу білка різних харчових добавок*

Найменування амінокислот	Вміст у КСБ		Вміст у тваринному білку		Вміст у БМВД		Еталон ФАО/ВООЗ, мг/г білка
	г/100 мг продукта	мг/1 г білка	г/100 мг продукта	мг/1 г білка	г/100 мг продукта	мг/1 г білка	
1	2	3	4	5	6	7	8
Валін	3,92	59,8	2,53	28,16	3,66	36,69	50

1	2	3	4	5	6	7	8
Ізолейцин	4,074	62,2	1,59	17,70	2,32	32,00	40
Лейцин	5,87	89,7	3,46	38,52	4,63	63,86	70
Лізин	5,63	86,0	3,78	42,08	4,63	63,86	55
Метіонін+цистин	3,805	58,1	1,3	14,55	1,85	25,45	35
Треонін	4,67	71,3	2,0	22,27	3,14	43,31	40
Фенілаланін+ Тирозин	4,55	69,5	3,43	38,19	3,45	47,59	60
<b>Сума незамінних амінокислот</b>	<b>32,52</b>	<b>496,6</b>	<b>18,09</b>	<b>201,47</b>	<b>23,68</b>	<b>312,75</b>	<b>350</b>
Аргінін	1,59	24,27	7,03	78,26	7,04	97,1	
Гістидин	1,59	24,27	1,01	11,24	1,65	22,76	
Аспарагінова кислота	7,13	108,85	5,69	63,34	6,97	96,14	
Серин	3,71	56,64	3,25	36,18	3,56	49,10	
Глютамінова кислота	10,18	155,42	9,03	100,51	9,14	126,07	
Пролін	4,26	65,04	11,3	125,8	9,20	140,69	
Гліцин	1,38	21,07	18,1	201,51	7,9	108,97	
Аланін	3,67	56,07	7,5	83,5	5,93	59,45	
<b>Сума замінних амінокислот</b>	<b>33,51</b>	<b>511,63</b>	<b>62,91</b>	<b>700,34</b>	<b>51,39</b>	<b>700,28</b>	
<b>Сума амінокислот*</b>	<b>66,03</b>	<b>1008,23</b>	<b>81,0</b>	<b>1013,09</b>	<b>75,07</b>	<b>1013,03</b>	
Співвідношення НАК/ЗАК	0,97		0,29		0,45		

\*Сума наведена для 17 амінокислот, решту не визначали.

Повноцінні тваринні білки значно переважають рослинні за біологічною цінністю, краще збалансовані за амінокислотним складом, це добрі емульгатори, дають змогу переробляти малоцінну жировмісну сировину, покращують консистенцію і пластичність фаршу, підвищують органолептичні властивості готових виробів (соковитість, зовнішній вигляд), збільшують вихід, дозволяють суттєво знизити собівартість продукту.

Результати аналізу амінокислотного складу білків (табл. 1) у харчових добавках дають змогу стверджувати, що в них наявні всі незамінні і замінні амінокислоти. Так, за вмістом незамінних амінокислот найбільш повноцінним є концентрат сироваткового білка, що містить найбільшу кількість треоніну, вміст якого майже на половину переважає еталонний білок ФАО/ВООЗ, (метіоніну+цистину), лізину та ізолейцину, тобто по всіх амінокислотах кращий за еталон.

Вміст білка складає 89,8%, серед амінокислот переважають замінні, а саме: гліцин, пролін, глютамінова кислота та аланін. Цей білок не є збалансованим за амінокислотним складом. У розробленій нами БМВД (72,7% білка) серед незамінних амінокислот переважають лізин (сприяє засвоєнню кальцію організмом, транспортуючи його в кістки, стабільній роботі серця), лейцин — запобігає розвитку саркопенії при вікових змінах, треонін (підтримує нормальний білковий обмін, бере участь у синтезі колагену й еластину,

перешкоджає відкладенню жиру в печінці); серед замісних — пролін, гліцин, глютамінова та аспарагінова кислоти й аргінін.

У результаті аналізу порівняння розрахованих значень АСа встановлено, що тваринний білок поступається стандартному білку ФАО/ВООЗ майже на половину, основна лімітована амінокислота — метіонін+цистин, СКОР якої складає 41,57%. До речі, ця амінокислота є лімітуючою і в БМВД — 44,14%. Найвищу потенційну біологічну цінність 90,88% має КСБ.

Розраховане значення КРАС підтверджує, що тваринний білок містить більше надлишкових амінокислот, які не використовуються організмом на метаболічні процеси порівняно з БМВД і КСБ.

Порівняльний аналіз амінокислотного складу білків харчових добавок і «стандартного» білка наведено за показниками амінокислотної збалансованості (табл. 2). З табл. 2 видно, що мінімальний амінокислотний скор серед добавок належить метіонін+цистин (41,57% у добавці колагенового тваринного білка). В розрахунках показників біологічної цінності скор цієї амінокислоти було прийнято за лімітуючий. Величина потенційної біологічної цінності (БЦп) склала: 84,6 — тваринний білок, 90,88 — концентрат сироваткового білка та 93,66 — білково-мінерально-вуглеводна добавка. Розрахований коефіцієнт різниці амінокислотного скору вказує, що 15,38% незамінних амінокислот у тваринному білку є збитковими і не можуть бути використані на пластичні потреби.

*Таблиця 2. Параметри амінокислотної збалансованості білків харчових добавок*

Найменування амінокислот	Еталон ФАО/ВООЗ, мг/г білка	Тваринний білок		Білково-мінерально-вуглеводної добавки		Концентрат сироваткового білка	
		Вміст, мг/г білка	АС <sub>a</sub> скор амінокислоти, %	Вміст, мг/г білка	АС <sub>a</sub> скор амінокислоти, %	Вміст, мг/г білка	АС <sub>a</sub> скор амінокислоти, %
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Вміст білка, %</b>		<b>89,8</b>		<b>72,7</b>		<b>65,5</b>	
Валін	50	28,16	56,34	36,69	73,38	59,8	119,6
Лейцин	70	38,52	55,03	63,86	91,23	89,7	128,14
Лізин	55	42,08	76,51	63,86	116,11	86,0	156,36
Ізолейцин	40	17,7	44,25	32,00	80,00	62,2	155,5
Метіонін+цистин	35	14,55	41,57	25,45	72,71	58,1	166,0
Фенілаланін+тирозин	60	38,19	63,65	47,59	79,32	69,5	115,83
Треонін	40	22,27	55,68	43,31	108,28	71,3	178,25
Потенційна біологічна цінність (БЦп) білка, %		84,62		93,66		90,88	
Коефіцієнт різниці амінокислотного скору (КРАС), %		15,38		6,34		9,12	
Коефіцієнт утилітарності (раціональності), U частка од.		0,72		0,81		0,75	

1	2	3	4	5	6	7	8
Коефіцієнт надлишковості, $\sigma_{\text{над}}$ г/100г білка еталона			1,35		0,80		1,18
Назва першої лімітуючої амінокислоти			Метіонін+ цистин		Метіонін+ цистин		немає
Скор першої лімітуючої амінокислоти, %			41,57		72,71		немає

Найкращий результат КРАС отримано в БМВД — 6,34%. Отримані дані дають змогу стверджувати, що незамінні амінокислоти достатньо збалансовані і на це вказує високий показник коефіцієнта утилітарності (раціональності) амінокислотного складу білка — 0,81, що відповідає ступеню використання даного білка організмом стосовно фізіологічно необхідної норми. Коефіцієнт надлишковості амінокислотного складу білка характеризує сумарну масу незамінних амінокислот, які не використовуються на анаболічні потреби в такій кількості білка оцінюваного продукту, що еквівалентно за їх потенційно-утилізованим вмістом 100 г білка еталона. Чим менше значення коефіцієнта зіставленої надлишковості, тим краще збалансовані незамінні амінокислоти і тим більш раціонально вони будуть використані організмом. Низьке значення коефіцієнта зіставленої надлишковості у складі білка — 0,8 г/100 г білка еталона характеризує цю добавку як високоякісне джерело незамінних амінокислот. Ця характеристика якості білка дослідженої добавки також підтверджується низьким коефіцієнтом розбалансованості амінокислотного складу білка. Оцінка біологічної цінності білка дає змогу врахувати вміст всіх незамінних амінокислот у добавці і вказує на те, що БМВД має високу біологічну цінність, індекс незамінних амінокислот якої складає 0,45. Крім того, у своєму складі містить кальцій і хітозан, що створює передумови до впровадження даної розробки як інгредієнта для рецептур м'ясних виробів цільового призначення.

### **Висновок**

Таким чином, показники біологічної цінності розробленої білково-мінерально-вуглеводної добавки підтверджують доцільність її використання в технології м'ясних виробів як повноцінного інгредієнта для загального та спеціального харчування. Отримані дані дають змогу стверджувати, що незамінні амінокислоти в БМВД достатньо збалансовані, коефіцієнт утилітарності (раціональності) амінокислотного складу білка складає 0,81, що відповідає ступеню використання даного білка організмом стосовно фізіологічно необхідної норми.

У подальшому буде проведено розробку рецептур ковбасних виробів з урахуванням попередніх результатів експериментальних досліджень щодо підбору основної сировини, співвідношення складових, рівня заміни м'ясної сировини на БМВД та умови введення добавки при виготовленні фаршевих м'ясних систем.

**Література**

1. Микрочастицы хитозана для получения формы альфа-интерферона пролонгированного действия / А.А. Губайдулина, Г.И. Смагина, А.И. Мелентьев, М.М. Алсынбаев // Биотехнология. — 2010. — № 5. — С.45—50.
2. Антибактериальная и антимикотическая активность хитозана: механизм действия и роль структуры/ С.Н. Куликов, Ю.А. Тюрин, Р.С. Фассахов // Журнал микробиологии эпидемиологии и иммунобиологии. — 2014. — № 5 — С. 91—97.
3. *Jull A. B. et al.* Chitosan for overweight or obesity / Cochrane Database of Systematic Reviews. — 2008. — Issue 3. — P. 6—32.
4. *Sogias I.A., Williams A.C., Khutoryanskiy V.V.* Why is chitosan mucoadhesive? *Bio-macromolecules*, 9, 1837—1842 (2008).
5. *Casetari L., Illum L.* Chitosan in nasal delivery systems for therapeutic drugs // *Journal of Controlled Release*. — 2014. — # 190. — P. 189—200.
6. *Варламов В.П.* Хитин и хитозан: природа, получение и применение/ В.П. Варламов, С.В. Немцев, В.Е. Тихонов. — Щелково : Изд-во Российского Хитинового Общества, 2010. — 292 с.
7. *Sayas-Barbera E., Quesada J., Sanchaz-Zapata E.* Effect of the molecular weight and concentration of chitosan in pork model burgers. // *Meat Science* 88 (2011). — P. 740—749.
8. *Peshuk L., Budnyk N., Galenko O.O.* Rational use of the collagen / *Ukrainian Journal of Food Science*.— 2014. — Volume 2, Issue 1.— P. 361—370.
9. *Пешук Л.В.* Застосування хітозану в технології м'ясних продуктів / Л.В. Пешук, О.Я. Горбач, І.С. Лисенко // *Технічні науки: наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матер. 82 міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів 13—14 квітня 2016 р.* — Київ : НУХТ, 2016. — С. 294.

**THE INFLUENCE OF THE STITCHED STARCH,  
INULIN AND PROTEIN ISOLATES  
ON THE PROCESS OF THERMAL PROCESSING  
OF PROTRACTED COOKIES FOR SPECIAL PURPOSE**

**A. Dorohovych, M. Petrenko**  
*National University of Food Technologies*

---

<b>Key words:</b> <i>Protracted cookies</i> <i>Heat treatment</i> <i>Crosslinked starch</i> <i>Protein isolate</i> <i>Inulin</i>	<b>ABSTRACT</b> The paper describes the results of theoretical and experimental studies of changing the heat treatment regimes for protracted cookies when incorporating crosslinked starch, protein isolates and inulin. Attention is given to the effect of crosslinked starch, inulin and protein isolates on the change of the ratio of moisture forms in the dough for protracted cookies. The significant influence of new raw materials on the growth of the amount of bound moisture in the dough and its relationship to the duration of heat treatment is proved. It is established that the application of crosslinked starch, inulin and protein isolates extends the duration of heat treatment of protracted cookies by 8—12%. The optimal heat treatment regimes for special-purpose protracted cookies with new raw materials have been determined, which ensure proper organoleptic parameters and high quality of the finished products.
<b>Article history:</b> Received 12.11.2017 Received in revised form 27.11.2017 Accepted 20.12.2017	
<b>Corresponding author:</b> A. Dorohovych <b>E-mail:</b> nphuht@ukr.net	

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-24

---

**ВПЛИВ ЗШИТОГО КРОХМАЛЮ,  
ІНУЛІНУ ТА БІЛКОВИХ ІЗОЛЯТІВ  
НА ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБЛЕННЯ ЗАТЯЖНОГО  
ПЕЧИВА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**А.М. Дорохович, М.М. Петренко**  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті описано результати теоретичних і експериментальних досліджень зміни режимів термооброблення затяжного печива при внесенні до його складу зшитого крохмалю, білкових ізолятів та інуліну. Увага приділена впливу зшитого крохмалю, інуліну та білкових ізолятів на зміну співвідношення форм вологи в тіста для затяжного печива. Доведено суттєвий вплив нової сировини на зростання кількості зв'язаної вологи в тісті та її зв'язок з тривалістю термооброблення. Встановлено, що внесення зшитого крохмалю, інуліну та білкових ізолятів подовжує тривалість термообробки затяжного печива на 8—12%. Визначено оптимальні режими термооброблення затяж-*



ного печива спеціального призначення з новою сировиною, які забезпечують належні органолептичні показники та високу якість готової продукції.

**Ключові слова:** зтяжне печиво, термооброблення, шиштий крохмаль, білковий ізолят, інулін.

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах важливим напрямком розвитку кондитерської галузі є створення нових виробів функціонального та дієтично-функціонального призначення, які можуть забезпечувати необхідну кількість біологічно активних речовин у добовому раціоні людей з різними потребами. Продукти вказаної спрямованості, як правило, містять значну кількість макро- та мікронутрієнтів (білків, жирних кислот, антиоксидантів, вітамінів, амінокислот, мінеральних речовин, харчових волокон), мають знижену або поліпшену калорійність, а в окремих випадках — низький вміст жиру і відсутність цукру в рецептурному складі. Збільшення частки даних продуктів у повсякденному раціоні поліпшує перебіг базових фізіологічних процесів в організмі людини, зміцнює імунітет і загальний стан організму людини, допомагає в профілактиці хронічних захворювань [1].

Найбільш доступним і економічно вигідним шляхом створення продуктів функціонального та дієтично-функціонального призначення є збагачення існуючих продуктів біологічно активними речовинами за рахунок використання нетрадиційних видів сировини [2]. Борошняні кондитерські вироби є прийнятним об'єктом для збагачення, оскільки займають значну нішу на ринку України, користуються попитом серед населення і переважно мають достатньо гнучкий технологічний процес, що дає змогу вносити до їх складу нові сировинні компоненти без суттєвого погіршення органолептичних показників готових виробів. Зтяжне печиво має найбільш збалансований хімічний склад за вмістом білків, жирів і вуглеводів, порівняно з рештою борошняних кондитерських виробів, а широкий асортимент рецептур, зокрема з цукром і без нього, дає змогу створювати вироби для всіх груп населення.

При розробленні нових рецептурних композицій слід враховувати, що нетрадиційна сировина може суттєво змінювати технологічні режими процесів приготування зтяжного печива, серед яких одним з основних є процес термооброблення, що остаточно формує якість зтяжного печива як готового продукту. Під час термооброблення проходять складні тепломасообмінні, фізико-хімічні, колоїдні, біохімічні, структурно-механічні процеси, які впливають на органолептичні (смак, аромат, колір, стан поверхні) показники. З фізичної точки зору процес термооброблення являє собою гігротермічний процес, для якого характерне перенесення тепла і вологи під впливом температурного градієнта, градієнта вологовмісту, градієнта тепловологопродності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковими дослідженнями, що стосуються питання термообробки борошняних кондитерських виробів, включаючи зтяжне печиво, займалися такі відомі вчені, як А.С. Гінзбург, А.А. Міхелев, В.В. Данілевська, М.М. Істоміна, А.М. Дорохович. У 1983 р. В.В. Данілевською опубліковані дослідження, присвячені хімічним змінам

складу цукрового, зтяжного печива, бісквітів і галет у процесі термооброблення [3]. Теоретичні основи процесу термооброблення борошняних кондитерських виробів були опубліковані в працях М.М. Істоміної та А.М. Дорохович [4; 5]. Зокрема в [5] були обґрунтовані раціональні режими термооброблення зтяжного печива звичайного та спеціального призначення, з наведенням даних щодо росту тістових заготовок та кінетики процесу його випікання-сушіння.

Для поліпшення хімічного складу печива до складу двох його рецептур (з цукром та без цукру) було внесено, відповідно, зшитий крохмаль та ізолят молочного білка, інулін та ізолят соєвого білка, важливо також визначити можливу зміну перебігу процесу термооброблення тістових заготовок, отриманих за даними рецептурами.

Слід зазначити, що зшитий крохмаль та інулін були внесені до рецептури зтяжного печива для збільшення кількості харчових волокон у його складі, а молочний та соєвий ізоляти служать джерелами повноцінного білка з достатньо збалансованим вмістом усіх незамінних амінокислот. Використання даних видів функціональних компонентів дає змогу покращити хімічний склад зтяжного печива зі збереженням можливості його виготовлення на існуючому обладнанні [6].

**Мета статті:** дослідити вплив зшитого крохмалю, інуліну та ізолятів молочного і соєвого білка на стан вологи в тістових заготовках зтяжного печива та на процес його термооброблення.

**Матеріали і методи.** Об'єктом досліджень було зтяжне печиво, а також тісто і сировина для його приготування. Як основну сировину використовували пшеничне борошно вищого гатунку, зшитий модифікований крохмаль марки «Hi-Maize», високомолекулярний інулін, ізоляти молочного та соєвого білка, а також інші компоненти згідно з рецептурою на зтяжне печиво. Форми зв'язку вологи в досліджуваних зразках тіста визначали методом термогравіметричного аналізу на приладі «Дериватограф Q-1500D» за зміною швидкості видалення вологи і величин теплових ефектів, що дало змогу проаналізувати характер процесів, які відбувались при прогріванні досліджуваних зразків [7]. Зміну температури зразка у процесі термооброблення визначали за допомогою хромель-капельних термопар. Для реєстрації змін температури використовували шеститочковий потенціометр КСП-4. Для вимірювання температури різних шарів тістових заготовок, термопари розташовували на різній висоті від низу заготовки. При побудові кривих кінетики прогріву використовували декартову систему координат [5; 8].

**Результати і обговорення.** Під час досліджень використовувалась нетрадиційна для кондитерської галузі сировина, а саме: інулін, зшитий модифікований крохмаль, ізолят соєвого і молочного білка. Зшитий модифікований крохмаль є стійким крохмалем і виконує роль харчових волокон — зменшує рівень холестерину в крові, покращує функцію кишечника, зменшує ризики появи в ньому злویкісних пухлин [9]. Ізолят молочного білка служить джерелом тваринного білка з високим вмістом незамінних амінокислот [10]. Готовий ізолят казеїну являє собою білий амфотерний порошок без ясно вираженого смаку і запаху, що дає змогу вносити його до рецептури печива без зміни органолептичних властивостей та робить його дешевим і зручним білковим

збагачувачем для функціональних продуктів. Інулін з високим ступенем полімеризації стійкий до дії ферментів тонкого кишечника людини, тому доцільним є використання інуліну як джерела харчових волокон [9]. Ізолят соєвого білка містить у своєму складі повний спектр амінокислот, у тому числі всі незамінні [11], що надає можливість використовувати його як джерело повноцінного білка для збагачення борошняних кондитерських виробів.

Оскільки вміст вільної та зв'язаної води в тісті безпосередньо впливає на перебіг процесу термооброблення тістових заготовок і зберігання печива, визначення форм зв'язку води має суттєве значення. Дослідження проводили з допомогою приладу дериватограф Q-1500D в діапазоні температур 293—473 К (20—200° С). Результати аналізу дериватограм представлені в табл. 1.

*Таблиця 1. Результати аналізу дериваторам за кількістю вільної і зв'язаної води та обрахунку енергії активації*

Назва зразка	Загальна кількість води у тісті, %	Вільна вода, % до загальної кількості	Зв'язана вода, % до загальної кількості	Енергія активації, Дж/моль
Контрольний зразок з цукром	27,0	59,0	41,0	5,22
Зразок з пюре гарбуза	27,0	43,0	57,0	9,32
Зразок з пюре гарбуза і шротом насіння гарбуза	27,0	44,5	55,5	9,12
Контрольний зразок без цукру	27,0	59,6	40,4	5,32
Зразок з інуліном	27,0	55,3	44,7	6,76
Зразок з інуліном та ізолятом соєвого білка	27,0	49,9	50,1	8,93

Внесення до рецептур тіста зшитого модифікованого крохмалю та ізоляту молочного білка підвищує кількість зв'язаної води. Тісто з додаванням зшитого крохмалю та ізоляту молочного білка містить 55% зв'язаної води, що перевищує значення контрольного зразка на 14,5%. Слід відмітити, що кількість зв'язаної води в зразку тіста зі зшитим крохмалем вища, ніж у тісті з одночасним внесенням зшитого крохмалю та ізоляту молочного білка. Таку відмінність можна пояснити тим, що одночасно з внесенням цих компонентів до рецептури відбувається перерахунок сухих речовин тіста і вилучення частини борошна, що відповідним чином змінює загальну кількість зв'язаної води в тістовому зразку. Зменшення кількості вільної води, за рахунок її зв'язування харчовими волокнами та білковими компонентами, відповідним чином впливає на енергію активації — вона зростає на 70% порівняно з контрольним зразком. Проведені дослідження дають змогу зробити прогноз — процес випікання-сушіння печива, до складу якого входить зшитий крохмаль та ізолят молочного білка буде тривалішим, ніж у класичного затяжного печива.

Внесення інуліну та ізоляту яєчного білка має виражений вплив на зміну форм зв'язку вологи в тісті. Інουλін підвищує вміст зв'язаної вологи на 4,3%, а ізолят соєвого білка — 5,4%. Вміст зв'язаної вологи в зразку, що містить обидва компоненти, вищий за контрольний на 9,7%. Зростання кількості зв'язаної вологи в перерахованих зразках пов'язане з внесенням у рецептуру тіста значної кількості харчових волокон і білкових компонентів, які активно зв'язують й утримують воду. Енергія активації зростає на 65%, що також свідчить про значне зростання кількості міцних форм зв'язку в системі.

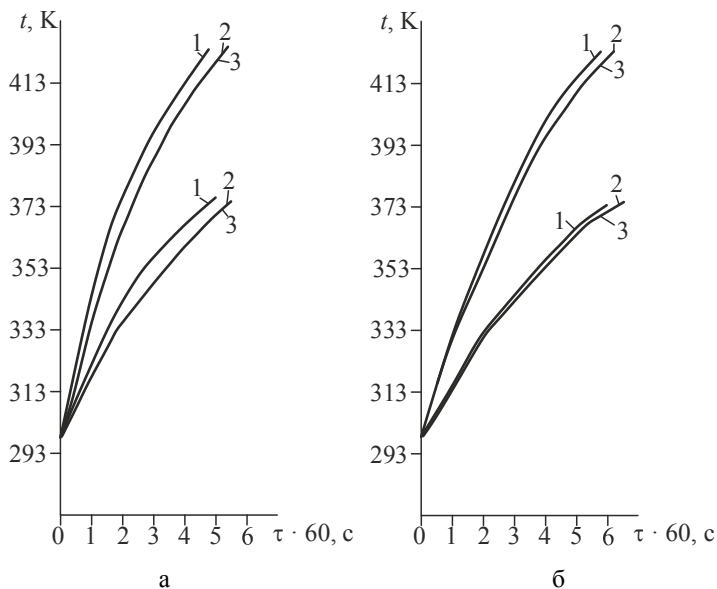
Термооброблення зтяжного печива — це комбінований процес випікання-сушіння, який має свої особливості. Термооброблення зтяжного печива, як правило, відбувається в тунельних печах з трьома зонами обігріву. В першій зоні процес термооброблення проходить при підвищеній вологості повітря — 60—70% і низькій температурі середовища пекарної камери — 463—473 К (150—160° С). Висока відносна вологість середовища пекарної камери досягається шляхом зволоження. Невелика температура середовища пекарної камери і високі значення вологості затримують утворення скоринки на поверхні заготовки і це сприяє утворенню пористої структури виробу. Далі температура пекарної камери поступово збільшується і в другому періоді випікання становить 533—573 К (260—300° С).

У другому періоді відбуваються складні колоїдні і фізичні процеси, які пов'язані з денатурацією і коагуляцією білків кристалізацією крохмалю та розкладанням хімічних розпушувачів. Важливим процесом, що сприяє утворенню належної структури печива, є збільшення тістової заготовки в об'ємі протягом випікання під дією газів, що утворюються під час розкладу хімічних розпушувачів і водяних парів. У третьому періоді — періоді сушіння — термооброблення проходить при температурі 200—220° С (473—493 К). У процесі сушіння відбувається остаточна фіксація структури виробів та утворення скоринки відповідного кольору, що при загальному дотриманні умов термооброблення дає змогу отримати вироби належної якості [5].

Зміна кінетики прогріву тістових заготовок зтяжного печива при внесенні до його складу нетрадиційної сировини представлена на рисунку та в табл. 2. Внесення зшитого крохмалю, як і прогнозувалось, уповільнює процес термооброблення зтяжного печива на 11% порівняно з контролем.

*Таблиця 2. Результати аналізу даних кінетики прогріву тістових заготовок*

Назва зразка	Температура центральних шарів тістової заготовки, К (°С)	Тривалість процесу термооброблення, с (хв)
Контрольний зразок з цукром	376 (103)	300 (5,0)
Зразок із зшитим крохмалем	375 (102)	330 (5,5)
Зразок із зшитим крохмалем та ізолятом молочного білка	375 (102)	330 (5,5)
Контрольний зразок без цукру	374 (101)	360 (6,0)
Зразок з інуліном	374 (101)	390 (6,5)
Зразок з інуліном та ізолятом соєвого білка	374 (101)	390 (6,5)



**Рис. Кінетика прогріву центральних шарів  $t_n = t(\tau)$  і поверхневих шарів  $t_n = t(\tau)$  тістових заготовок:**

а) 1 — контрольний зразок; 2 — зразок тіста із зшитим крохмалем; 3 — зразок тіста із зшитим крохмалем та ізолятом молочного білка; б) 1 — контрольний зразок; 2 — зразок тіста інуліном; 3 — зразок тіста з інуліном та ізолятом соєвого білка

Температура центру заготовки при цьому знижується на 1 К ( $1^{\circ}\text{C}$ ), що зумовлено вилученням із рецептури частини цукру при внесенні зшитого крохмалю. Спостережуваний вплив зшитого крохмалю є закономірним, оскільки більша частина його сухих речовин являє собою харчові волокна в чистому вигляді. Додаткове внесення в рецептуру ізоляту молочного білка не створює видимих змін у процесі термооброблення зтяжного печива, адже при його включенні до рецептури з неї вилучалась частина борошна, що, очевидно, мало компенсуючу дію. Тривалість термооброблення зтяжного печива зі зшитим крохмалем та ізолятом молочного білка становить 5,5 хв, температурні режими при цьому не змінюються. Враховуючи значний вміст зв'язаної вологи й укріплену структуру тіста, підвищення температури термооброблення даного зтяжного печива, з метою скорочення його тривалості нами не рекомендується, оскільки матиме негативний вплив на органолептичні показники, насамперед на стан і забарвлення скоринки.

Внесення до рецептури зтяжного печива високополімеризованого інуліну, як видно з рисунка, підвищує тривалість термооброблення — харчові волокна уповільнюють процес видалення вологи із заготовки. Тривалість термооброблення заготовок з інуліном більша на 30 секунд (8% порівняно з контролем). При одночасній наявності в рецептурі інуліну та ізоляту соєвого білка тривалість термооброблення становить 6,5 хв, температура центру заготовки при цьому не змінюється. Незважаючи на подовження тривалості термообробки даного печива, ми не рекомендуємо підвищувати температуру середовища пекарної камери, оскільки для зтяжного печива без цукру вона і

так перевищує стандартну на 10—15 К (°С) [5], і подальше її зростання матиме негативний вплив на його органолептичні показники.

### Висновки

Проведені дослідження процесу термооброблення нового зтяжного печива показали, що включення до рецептури печива зшитого крохмалю, інуліну, ізолятів молочного та соєвого білка підвищує тривалість процесу випікання-сушіння на 8—12% порівняно з класичними рецептурами, що пояснюється більшим вмістом зв'язаної вологи в тістових заготовках на 9,7—14,5% та укріпленням клейковинного комплексу тіста. Технологічні параметри температури та вологості пекарної камери змінювати немає необхідності, зтяжне печиво за новими рецептурами буде піддаватись термообробленню протягом 5,5—6,5 хв, що дасть змогу отримати належні органолептичні характеристики готових виробів. Внесення нової сировини не значно впливає на технологічні параметри виробництва зтяжного печива, що надає можливість виготовляти його на існуючому обладнанні.

### Література

1. *Капрельянц Л.В.* Функціональні продукти / Л.В. Капрельянц, К.Г. Юргачова. — Одеса : Друк, 2003. — 312 с.
2. *Острик А.С.* Использование нетрадиционного сырья в кондитерской промышленности: Справочник / А.С. Острик, А.Н. Дорохович, Н.В. Мироненко. — Киев : Урожай, 1989. — 112 с.
3. *Данилевская В.В.* Химические изменения сахарного, зтяжного печенья, бисквита и галет в процессе выпечки / В.В. Данилевская // Труды ВКНИИ. — 1983. — № 117. — С. 35—48.
4. *Истомина М.М.* Исследование процесса выпечки печенья, как основного фактора, определяющего конструкцию печи / М.М. Истомина. — Автореферат дис. к.т.н. — Москва : МТИПП, 1957.
5. *Дорохович А.Н.* Разработка научных основ технологии различных мучных кондитерских изделий улучшенного качества / А.Н. Дорохович. — Дис. д-ра. техн. наук : 05. 18.01. — Москва, 1988. — 438 с.
6. *Соколовский А.С.* Технология кондитерского производства. Учебник для пищевых вузов / А.С. Соколовский. — Москва : Пищепромиздат, 1952. — 418 с.
7. *Пименова Л.Н.* Термография: Методические указания по дисциплине «Физикохимические методы исследования» / Л.Н. Пименова. — Томск : Изд-во Томск. архит.-строит. ун-та, 2005. — 19 с.
8. *Гинзбург А.С.* Теплофизические основы процесса выпечки / А.С. Гинзбург. — Москва : Пищепромиздат. — 1955. — 475 с.
9. *Полумбрик М.О.* Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / М.О. Полумбрик. — Київ : Академперіодика, 2011. — 487 с.
10. *Махинько В.М.* Високобілкові добавки в хлібобіченні / В.М. Махинько, Л.М. Черниш // Хранение и переработка зерна. — 2014. — № 6(183). — С. 57—60.
11. *Арсеньєва Л.Ю.* Склад і перетравлюваність білкових речовин продуктів перероблення бобових / Л.Ю. Арсеньєва, О.В. Борисенко, Н.П. Бондар та ін. // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2004. — № 15. — С. 51—54.

## THE EFFICIENCY OF MODERN DEZINFECTANTS IN THE SUGAR BEET PROCESSING AFFECTED BY BACTERIA OF *LEUCONOSTOC*

N. Husyatynska, T. Nechypor

National University of Food Technologies

---

**Key words:**

*Dextran*  
*Mucous bacteriosis*  
*Leuconostoc*  
*Diffusion juice*  
*Disinfectants*

**Article history:**

Received 17.11.2017  
Received in revised form  
06.12.2017  
Accepted 27.12.2017

**Corresponding author:**

N. Husyatynska  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

In the article it is investigated the impact of dextran on the technological quality of the diffusion and cleared juices. It is confirmed that as a result of the presence of dextran the indicator of sucrose content is distorted by direct polarization method that leads to its overestimation compared to its actual value. It is established the high efficiency of modern disinfectants on inhibition of the development of slimeforming bacteria of *Leuconostoc* genus. It is confirmed the possibility of their use in various manufacturing stages of sugar beet production to prevent the development of mucous bacteriosis.

DOI: 10.24263/2225-2924-2017-23-6-25

---

## ЕФЕКТИВНІСТЬ СУЧАСНИХ ДЕЗІНФЕКТАНТІВ ПРИ ПЕРЕРОБЛЕННІ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ, УРАЖЕНИХ БАКТЕРІЯМИ РОДУ *LEUCONOSTOC*

Н.А. Гусятинська, Т.М. Нечипор

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вплив декстрану на технологічну якість дифузійного та очищеного соків. Підтверджено, що в результаті наявності декстрану спотворюється показник вмісту сахарози за методом прямої поляризації, що призводить до його завищення порівняно з дійсним значенням. Встановлено високу ефективність сучасних дезінфікуючих засобів щодо пригнічення розвитку слизоутворювальних бактерій роду *Leuconostoc*. Підтверджено можливість їх використання на різних технологічних стадіях бурякоцукрового виробництва для запобігання розвитку слизистого бактеріозу.

**Ключові слова:** декстран, слизистий бактеріоз, *Leuconostoc*, дифузійний сік, дезінфікуючі засоби.

**Постановка проблеми.** Якість сировини визначає технологічний процес виробництва білого цукру. Проте існує ряд об'єктивних чинників, що впли-

вають на зниження технологічних показників цукрових буряків унаслідок перебігу мікробіологічних процесів.

Найбільш небезпечним видом мікробного псування цукрових буряків є слизистий бактеріоз, що спричиняється слизоутворювальними бактеріями роду *Leuconostoc*. Типовим представником слизоутворювальних бактерій, що зустрічаються на цукрових заводах, є *Leuconostoc mesenteroides*. Утворення декстрану бактеріями роду *Leuconostoc mesenteroides* відбувається в результаті розкладання сахарози (рис. 1), аналогічному ферментативній інверсії, за винятком того, що глюкоза полімеризується в декстран, а фруктоза використовується для живлення бактерій [1].

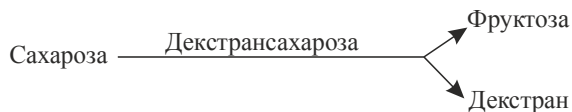


Рис. 1. Синтез декстрану *Leuconostoc mesenteroides* із сахарози

Унаслідок ураження коренеплодів слизистим бактеріозом у буряковому соку утворюється декстран.

Декстран є поліглюканом, який змінюється в розмірі від низькомолекулярного (розчинний) до високомолекулярного (нерозчинний). Окрім того, розчинність декстрану залежить від структурної будови макромолекули: чим вищий вміст  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) зв'язків, тим більша розчинність. І навпаки, чим вищий відсоток  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3) зв'язків у полімері, тим менша розчинність у воді (рис. 1) [1]. Саме наявність розчинного декстрану в соках і напівпродуктах цукрового виробництва спричинює не лише прямі втрати сахарози, але й створює значні проблеми у виробництві: зменшується ефективність очищення соку, погіршуються фільтраційно-седиментаційні властивості осаду, знижується швидкість випаровування, зменшується теплопередача тощо. Зрештою це призводить до уповільнення процесу кристалізації, збільшення тривалості уварювання утфелів, що спричинює зниження заводських потужностей [2].

**Мета статті:** дослідження впливу декстрану на технологічну якість дифузійного та очищеного соків, а також визначення ефективності сучасних дезінфікуючих засобів щодо слизоутворювальних бактерій роду *Leuconostoc* з метою їх подальшого застосування при виробництві цукру.

**Матеріали і методи.** Об'єктом досліджень був стерильний дифузійний сік, приготований у лабораторних умовах, оброблений чистою культурою бактерій *L. mesenteroides*. Термостатування здійснювали при температурі 37° С протягом 24 год. Визначення декстрану, молочної кислоти і нітритів проводили колориметричним методом [3]. Кількість бактерій *L. mesenteroides* визначали за методом Коха шляхом висіву на поживне середовище МПА з 10% сахарози.

У ході досліджень використовували такі дезінфекційні засоби з робочими концентраціями по діючій речовині: засіб 1 і засіб 2 — 0,001, 0,002, 0,003 та 0,004%, засіб 3 — 0,0005, 0,00075, 0,001, 0,002 та 0,004%, засіб 4 — 0,0002, 0,0004, 0,0008 та 0,001%, засіб 5 — 0,001, 0,002, 0,004 та 0,008%. Відповідно: засіб 1 — основні діючі речовини: полігексаметиленбігуанідин гідро хлорид



15—20%; натрію поліакрилат 0,5—1,0%; засіб 2 — діючою речовиною є полігексаметиленбігуанідин гідро хлорид 15%; засіб 3 — діючою речовиною є четвертинні амонієві сполук у кількості 40%; засіб 4 — діючою речовиною є натрієва сіль дихлорізоціанурової кислоти — 80,0%; засіб 5 — діючою речовиною є надоцтова кислота в кількості 12% та пероксид водню — 18%.

Для визначення чутливості мікроорганізмів до дії дезінфікуючих засобів використовували метод «лунок у товщі агару». Культивування мікроорганізмів проводили на поживному середовищі МПА з додаванням 10% сахарози з внесеною чистою культурою *L. mesenteroides*. Висновки про ефективність засобів робили за наявністю та розмірами зони затримки росту мікроорганізмів. Відсутність зони затримки росту вказує на те, що досліджувана культура нечутлива до дії даного антимікробного засобу. При діаметрі зони до 15 мм вважають, що мікроорганізми мають малий ступінь чутливості до досліджуваного засобу, діаметр зони від 15 до 25 мм вказує на середній ступінь чутливості. Наявність зони діаметром більше 25 мм свідчить про високий ступінь чутливості мікроорганізмів до даного антимікробного засобу.

**Результати і обговорення.** Утворення декстрану бактеріями роду *Leucostoc* може виступати індикатором їх розвитку. Накопичення вмісту декстрану при термостатуванні проби дифузійного соку, інфікованого культурою *L. mesenteroides*, зображено на рис. 2.

Необхідно зазначити, що при термостатуванні проб дифузійного соку кількість клітин тест-культури збільшилася практично на два порядки порівняно з початковим вмістом і становила  $4,8 \cdot 10^7$  КУО/см<sup>3</sup> після 24 год культивування, а вміст декстрану через 24 год збільшився у 20 разів порівняно з початковим значенням.

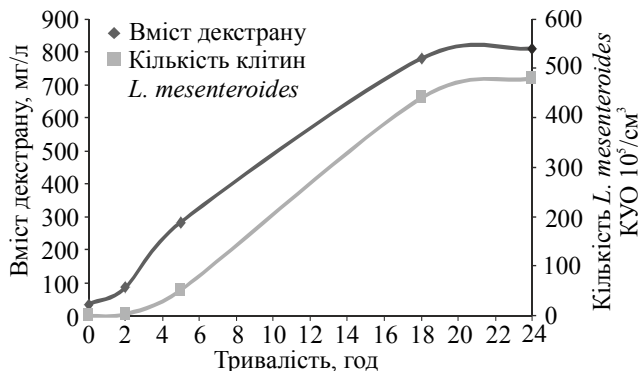


Рис. 2. Накопичення декстрану при термостатуванні проби дифузійного соку, інфікованого культурою *L. mesenteroides*

Таким чином, проведені дослідження показали, що у разі розвитку слизотворювальних бактерій у дифузійному соку спостерігається інтенсивне накопичення декстрану, що корелює зі збільшенням кількості клітин тест-культури *L. mesenteroides*.

Також відомо [4], що результатом життєдіяльності бактерій роду *Leucostoc* є накопичення молочної кислоти. Тому доцільним було визначення інтенсивності накопичення даної кислоти у дифузійному соку за розвитку

тест-культури *L. mesenteroides*. Результати досліджень щодо вмісту молочної кислоти в інфікованих пробах наведено на рис. 3.

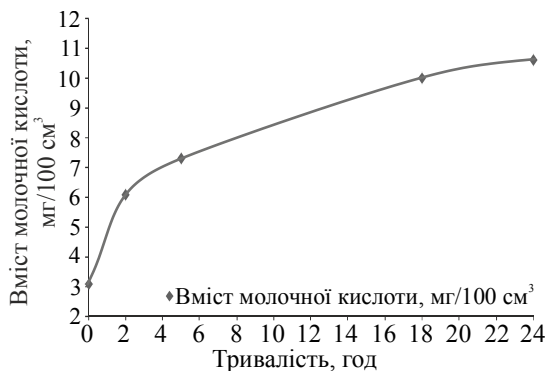


Рис. 3. Вміст молочної кислоти у дифузійному соку, інфікованому культурою *L. mesenteroides*

Так, у пробі соку з *L. mesenteroides* після термостатування при 37° С протягом перших 2 год вміст молочної кислоти зріс на 50%, через 18 год — на 60%, а через добу — зріс в 3,5 раза і становив 10,63 мг/100 см<sup>3</sup> порівняно з початковим вмістом молочної кислоти — 3,07 мг/100 см<sup>3</sup>.

З метою визначення впливу вмісту декстрану в дифузійному соку на технологічну якість очищеного соку нами було проведено відповідні дослідження. Для досліджень використовували кондиційні коренеплоди середніх строків зберігання, а також коренеплоди повністю вражені слизистим бактеріозом. Відповідно, одержували дифузійний сік за типовим способом окремо з кожної групи коренеплодів. У проби контрольного дифузійного соку (з кондиційних коренеплодів) вносили визначену кількість дифузійного соку з декстраном і проводили процес очищення дифузійного соку за допомогою дефекосатурації. Результати експериментальних досліджень (табл. 1, 2) свідчать про значний негативний вплив приросту вмісту декстрану в дифузійному соку на технологічну якість напівпродуктів бурякоцукрового виробництва.

Таблиця 1. Вплив декстрану на технологічну якість дифузійного соку

Технологічні показники дифузійного соку	Ступінь ураження коренеплодів слизистим бактеріозом, %				
	0	10	15	20	25
	Вміст декстрану, мг/л				
	0	240	360	480	600
pH <sub>20</sub>	6,28	6,2	6,18	6,23	6,3
Вміст молочної кислоти, мг/100 см <sup>3</sup>	4,74	5,1	5,7	5,8	6,1
Вміст нітритів, мг/дм <sup>3</sup>	7,63	7,92	8,04	8,1	8,3
Вміст пектинових речовин, % на 100 СР	1,33	1,72	1,98	2,15	2,39
Вміст високомолекулярних сполук, % на 100 СР	2,6	3,48	3,88	4,96	5,47

Таким чином встановлено, що при збільшенні ступеня ураження коренеплодів слизистим бактеріозом не тільки підвищується вміст декстрану в

дифузійному соку, але й відбувається ряд біохімічних процесів, унаслідок чого в соку накопичуються продукти розкладання, зокрема розчинні пектинові речовини, молочна кислота, нітрити, які негативно впливають на подальші стадії виробництва цукру.

Необхідно зазначити, що внаслідок вмісту декстрану, який є оптично активною речовиною  $[\alpha]_D^{20} = +230^{\circ}—233^{\circ}$ , у буряковій стружці, буряковому

та дифузійному соках спотворюється показник вмісту сахарози за методом прямої поляризації (табл. 1), що призводить до його завищення і негативно впливає на технологічний облік і контроль у виробництві. Так, у середньому спостерігалось завищення показника вмісту сахарози в дифузійному соку за методом прямої поляризації на 0,15—0,2 од на 100 мг декстрану порівняно з методом інверсійної поляризації. Це пояснюється тим, що інверсійно-поляриметричний метод з інвертуванням соляною кислотою дає змогу певною мірою виключити вплив інших оптично активних речовин на результати визначення сахарози. Метод заснований на здатності сахарози під впливом кислот перетворюватися на лівообертаючу суміш глюкози і фруктози (інвертний цукор). При цьому припускають, що інші оптично активні речовини не змінюють свою обертальну здатність після інверсії. Таким чином, зміна обертання площини поляризації після інверсії залежить тільки від кількості сахарози, наявної в даному продукті [5].

**Таблиця 2. Вплив вмісту декстрану на зниження показника масової частки сахарози дифузійного соку**

Технологічні показники дифузійного соку	Вміст декстрану, мг/л				
	0	240	360	480	600
Масова частка сухих речовин, %	13,5	13,2	13,6	13,3	13,2
Масова частка сахарози (за методом прямої поляризації), %	12	11,6	11,2	10,8	10,5
Чистота, %	88	87,8	82,4	81,2	79,5
Масова частка сахарози (за методом інверсійної поляризації), %	12	11,2	10,65	10,0	9,2
Чистота, %	88	84,8	78,3	75,2	69,7
Середнє зниження показника масової частки сахарози на 100 мг декстрану	—	0,160	0,1530	0,1660	0,21

Окрім того, наявність декстрану призводить до підвищення в'язкості продуктів, погіршення фільтраційних властивостей соків у процесі очищення, збільшення тривалості кристалізації цукру і підвищення втрат цукру в меласі [6]. Так, за нашими дослідженнями встановлено [7], що за вмісту декстрану 600 мг/л забарвленість соку другої сатурації збільшується в 5 разів порівняно з контрольним соком II сатурації. Підтверджено, що підвищення вмісту декстрану в дифузійному соку погіршує седиментаційні властивості осаду при дефеко-сатураційному очищенні. Так, за вмісту декстрану 240 мг/л у дифузійному соку знижується швидкість осадження осаду соку I сатурації в 2 рази порівняно з контрольною пробою і становить 1,36 см/хв, в той час як швидкість осідання в контрольній пробі становить 2,8 см/хв.

Таким чином, перероблення буряків, уражених слизистим бактеріозом, призводить до ряду негативних наслідків, тому важливим завданням є запобі-

гання розвитку слизоутворювальних бактерій у дифузійному апараті, мезго-уловлювачах жомпресової води та дифузійного соку, збірниках жомпресової води, оскільки саме на цих ділянках у більшому ступені може спостерігатися розвиток мікробіологічних процесів.

Тому з метою запобігання інтенсивного розвитку мікробіологічних процесів доцільно використовувати дезінфікуючі засоби. Наразі існує широкий спектр дезінфікуючих засобів, проте їх якість не завжди задовольняє виробництво з точки зору як погіршення якості соків та напівпродуктів, так і низької ефективності дії щодо контамінуючої мікрофлори.

Нами проведено ряд досліджень з метою встановлення ефективності застосування сучасних дезінфікуючих засобів щодо пригнічення розвитку слизоутворювальних бактерій роду *Leuconostoc*. Результати досліджень чутливості слизоутворювальних бактерій *L. mesenteroides* до дії дезінфікуючих засобів представлено на рис. 4 та 5.

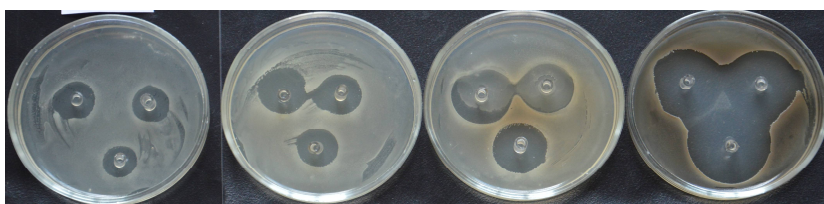


Рис. 4. Дія засобу 5 з концентраціями 0,001, 0,002, 0,004 та 0,008% на бактерії *L. mesenteroides*

Слід відзначити, що у разі застосування Засобу 4 спостерігалися не тільки чіткі зони затримки росту, але й пригнічення росту культури по всій чашці порівняно з контролем.

До особливих характеристик розвитку слизистого бактеріозу, а також «кльоку» слід віднести стійкість бактерій унаслідок утворення зовнішньої декстранової капсули до ряду хімічних засобів, дії високої температури та інших фізико-хімічних впливів [6].

Аналіз результатів проведених досліджень (рис. 5) свідчить про високу ефективність досліджуваних дезінфікуючих засобів щодо слизоутворювальних бактерій *L. mesenteroides*, які часто виявляють у сировині, технологічній воді, напівпродуктах бурякоцукрового виробництва.

Наявність високого бактерицидного ефекту надає можливість рекомендувати досліджувані засоби для обробки транспортерно-мийної води, води для ополіскування коренеплодів, для обробки сокостружкової суміші під час екстрагування сахарози з бурякової стружки та на інших ділянках виробництва, які потребують дезінфекції.

Враховуючи проведені дослідження, оптимальні витрати досліджуваних засобів щодо слизоутворювальних бактерій роду *Leuconostoc* такі: засіб 1 і 2 — 0,002—0,0035%; засіб 3 — 0,001—0,002%; засіб 4 — 0,0004—0,0008%; засіб 5 — 0,004—0,006% до маси продукту. Дезінфекцію сокостружкової суміші у дифузійному апараті слід здійснювати шляхом періодичного або безперервного введення одного із досліджуваних дезінфектантів. Таким чином, засоби 1 і 2 за періодичного способу вводяться у 2—4 точки дифузійного апарата та

у збірник жомпресової води з розрахунку загальних витрат 0,0005—0,0035% до маси перероблених за добу буряків. Рекомендовані витрати при переробленні кондиційних буряків 0,0005—0,0015% (5—15 г/тону буряків). У разі потреби (за наявності розвитку слизистого бактеріозу, значного приросту вмісту молочної кислоти ін.) витрати засобу можуть становити до 0,0035% до маси буряків (30—35 г/тону буряків).

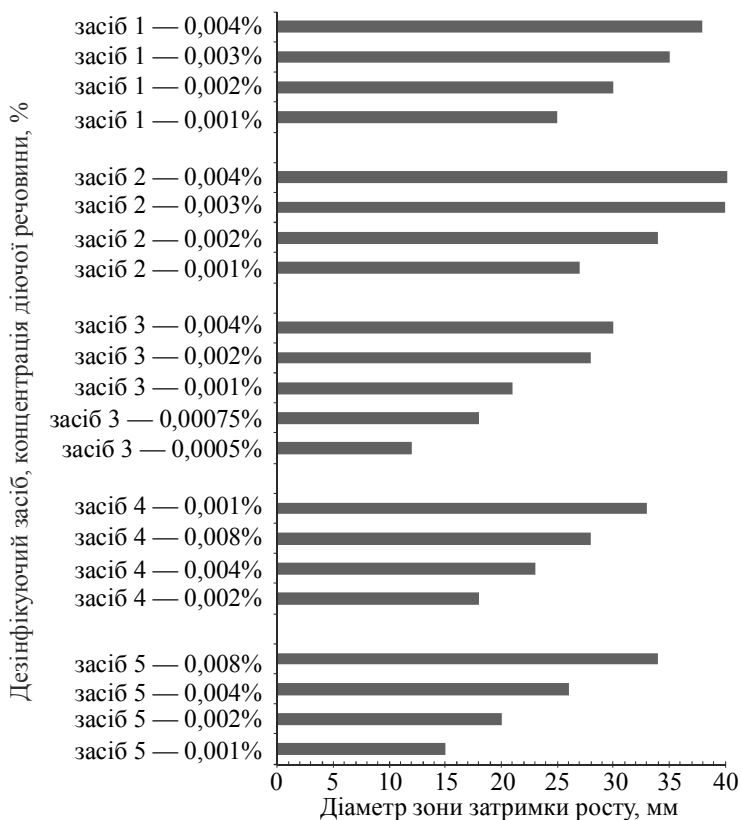


Рис. 5. Ступінь чутливості слизоутворювальних бактерій *L. mesenteroides* до дії дезінфікуючих засобів за методом «лунок у товщі агару»

Для засобу 3 рекомендується періодичний спосіб введення у 2—4 точки дифузійного апарата та у збірник жомпресової води з розрахунку витрат 0,0004—0,0015% до маси перероблених за добу буряків (4—15 г/т буряків). Періодичність введення складає 4—8 разів на добу і залежить від якості буряків, що переробляються. Рекомендовані витрати при переробленні кондиційних буряків 0,0004—0,0015% (4—15 г/тону цукрових буряків). У разі потреби (за наявності розвитку слизистого бактеріозу, значного приросту вмісту молочної кислоти тощо) витрати засобу можуть становити до 0,002% до маси буряків (20 г/тону буряків).

Для засобу 4 рекомендується періодичний спосіб введення у 2—4 точки дифузійного апарата та у збірник жомпресової води з розрахунку витрат 0,00005—0,0002% до маси перероблених за добу буряків. Періодичність

введення складає 4—8 разів на добу і залежить від якості буряків, що переробляються. Рекомендовані витрати при переробленні кондиційних буряків 0,0001—0,00015% (1—1,5 г/тонну (1—1,5 кг на тис. т) цукрових буряків). У разі потреби (за наявності розвитку слизистого бактеріозу, значного приросту вмісту молочної кислоти ін.) витрати засобу можуть становити до 0,0002% до маси буряків (2 г/тонну (2 кг на тис. т) буряків).

Для засобу 5 рекомендується періодичний спосіб введення у 2—4 точки дифузійного апарата та у збірник жомпресової води з розрахунку витрат витрат 0,0005—0,002% до маси перероблених за добу буряків (5—20 г/т буряків). Періодичність введення складає 4—8 разів на добу і залежить від якості буряків, що переробляються. Рекомендовані витрати при переробленні кондиційних буряків 0,0005—0,0015% (5—15 г/тонну цукрових буряків). У разі потреби (за наявності розвитку слизистого бактеріозу, значного приросту вмісту молочної кислоти ін.) витрати засобу можуть становити до 0,002% до маси буряків (20 г/тонну буряків).

### Висновки

1. Встановлено, що у разі розвитку слизоутворювальних бактерій роду *Leuconostoc* у дифузійному соку спостерігається інтенсивне накопичення декстрану, вміст якого корелює з кількістю клітин слизоутворювальних бактерій.

2. Підтверджено, що внаслідок накопичення вмісту декстрану в буряковій стружці, буряковому та дифузійному соках спотворюється показник вмісту сахарози за методом прямої поляризації, що призводить до його завищення і негативно впливає на технологічний облік і контроль у виробництві. Встановлено, що завищення показника вмісту сахарози за поляриметричним методом на кожні 100 мг декстрану становить 0,15—0,2 од.

3. Визначено рекомендовані витрати ряду сучасних засобів щодо пригнічення розвитку слизоутворювальних бактерій роду *Leuconostoc* у цукробуряковому виробництві: засіб 1 та 2 — 0,002—0,003%; засіб 3 — 0,001—0,002%; засіб 4 — 0,0004—0,0008%; засіб 5 — 0,004—0,006%.

### Література

1. *Soliman El-Sayed Ali Abdel-Rahman* Investigations on the influence of dextran during beet sugar production with special focus on crystal growth and morphology: dissertation doctor of engineering / Soliman El-Sayed Ali Abdel-Rahman — Berlin, 2007. — 109 p.

2. *Rauh J.S.* Analyzing dextran in the sugar industry: A review of dextran in the factory and a new analytical technique / Rauh J.S., Cuddihy J.A., Falgout R.N. // 30<sup>th</sup> Biennial Meeting American Society of Sugar Beet Technologists at Orlando. — 1999. — P. 29—40.

3. *Купчик М.П.* Технологія цукристих речовин. Лабор. практикум / М.П. Купчик, Л.П. Рева, Н.І. Штангеева та ін. — Київ : НУХТ, 2007. — 393 с.

4. *Белостоцкий Л.Г.* Указания по ведению микробиологического контроля свеклосахарного производства. — Киев : ВНИИСП, 1984. — 164 с.

5. Методические указания к выполнению учебно-исследовательских работ по спецконтролю сахарного производства для студентов специальности 27.03 всех форм обучения / Сост. М.И. Барабанов, А.П. Козьякин, Н.И. Штангеева. — Киев : КТИПП, 1990. — 56 с.

6. *Гусятинська Н.А.* Актуальні питання мікробіологічного контролю у виробництві цукру / Цукор України. — 2014. — № 6(102). — С. 21—32.

7. *Гусятинська Н.А.* Технологічні аспекти перероблення буряків, уражених слизистим бактеріозом / Н.А. Гусятинська, Т.М. Нечипор // Цукор України. — 2016. — № 11—12(131—132). — С. 53—58.

УДК 664.834:66.047

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF DRIED SEMI-FINISHED PRODUCT FROM YOUNG POTATOES

**O. Bessarab, M. Pisarev**

*National University of Food Technologies*

**H. Bandurenko**

*Kyiv Cooperative Institute of Business and Law*

---

**Key words:**

dry product  
semi-product  
new potatoes  
quality  
nutritional value

---

**Article history:**

Received 08.11.2017  
Received in revised form  
29.11.2017  
Accepted 19.12.2017

---

**Corresponding author:**

O. Bessarab

**E-mail:**

mgpisarev@gmail.com

---

**ABSTRACT**

The most effective method of food preservation today is drying. However, this method is also the most expensive. Therefore, the main objective of the drying process is to achieve the highest quality at a minimum cost of electricity. In the article there are results of development of the technology of new potato semi-product. Organoleptic and physical-chemical, quality indicators, chemical composition, food value of prepared production, optimum mode to obtain high quality products were defined. The influence of pretreatment potato on changing chemical composition and quality of semi-product was explored. The technology for drying potatoes was improved and the ways for its intensification were suggested. Its way of use is also proposed.

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-26

---

## РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СУШЕНОГО НАПІВФАБРИКАТУ З МОЛОДОЇ КАРТОПЛІ

**О.С. Бессараб, М.Г. Писарєв**

*Національний університет харчових технологій*

**Г.М. Бандуренко**

*Київський кооперативний інститут бізнесу і права*

*Ефективним методом консервування харчових продуктів на сьогодні є сушіння. В той же час цей метод є і найдорожчим, тому головне завдання процесу сушіння — досягти найвищої якості при мінімальних витратах енергії. У статті представлено результати розроблення технології нового напівфабрикату з картоплі. Визначено органолептичні і фізико-хімічні показники якості, хімічний склад, харчова цінність готового продукту і раціональні режими з метою отримання продукції високої якості. Обґрунтовано й досліджено вплив попереднього оброблення картоплі на зміни хімічного складу та якісні показники напівфабрикатів. Удосконалено технологію суши-*

ння картоплі, запропоновано способи її інтенсифікації. Ця технологія пропонується до впровадження.

**Ключові слова:** сушений продукт, напівфабрикат, молода картопля, якість, харчова цінність.

**Постановка проблеми.** Сучасний ринок напівфабрикатів вимагає постійного розширення асортименту, що пов'язано з напруженим ритмом життя багатьох українських громадян і дефіцитом часу на приготування їжі. Особливо актуальним стало виробництво продукції з тривалим терміном зберігання, насамперед сушених продуктів із плодоовочевої сировини. Ця продукція має ряд своїх переваг, пов'язаних зі зручністю транспортування, зберігання, відносно малою масою і стійкістю до перепаду температур [1; 4].

Серед затребуваних на ринку напівфабрикатів велике значення мають овочеві напівфабрикати, передусім сушена картопля. Технологіям отримання цієї продукції у вигляді кубиків, брусочків, пластинок і крупки приділено досить багато уваги, але актуальним залишається подальше підвищення якості та розширення асортименту. Багато авторів присвятили наукові дослідження особливостям переробки картоплі, зміні її хімічного складу і якісних показників при впливі різних способів сушіння. Аналізуючи їхні дані, можна зробити висновок про те, що кожна запропонована технологія має як свої переваги, так і недоліки. При цьому жодну з них не можна розглядати як досконалий або універсальний спосіб, який гарантує високу стабільну якість продукції протягом усього терміну зберігання. Авторами пропонуються різні способи сушіння й технології для переробки зрілої картоплі. Технологія отримання сушеної молодої картоплі, яку збирають до першого вересня, розроблена не була [5 — 7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З наявних літературних даних відомо, що картопля різних сортів відрізняється не тільки врожайністю, кількісним вмістом води, лежкістю, але і вмістом розчинних сухих речовин, цукрів, крохмалю, пектинових речовин і клітковини. Хімічний склад, поживна цінність, кулінарні та інші переваги картоплі значною мірою залежать від господарсько-ботанічного сорту, умов вирощування, зрілості бульб, термінів та умов зберігання. При виборі відповідних сортів картоплі для переробки, які поділяються на столові, технічні та універсальні, перевагу надають тим, що містять великі кількості поживних речовин, мають достатню розварюваність, лежкість і не темніють при розрізанні [3].

**Метою дослідження** є розроблення технології напівфабрикату з молодої картоплі, дослідження кінетики її сушіння для отримання продукту з високими якісними показниками.

**Матеріали і методи.** Як матеріали дослідження використано сорти молодої картоплі з різним вмістом крохмалю. Для вирішення поставлених завдань використовувалися органолептичні і фізико-хімічні методи досліджень рослинної сировини.

**Результати і обговорення.** Орієнтовно розрізняють сорти картоплі з високим вмістом сухих речовин (більше 25%), із середнім (22...25%) і низьким



(менше 22%). Молода картопля відрізняється насамперед меншим вмістом крохмалю, більш високим вмістом розчинних вуглеводів і активною ферментною системою. Вона користується високим попитом у споживачів, насамперед завдяки своїм смаковим і якісним показникам. Недоліками цієї сировини є обмежені терміни дозрівання і реалізації. Тому, з нашої точки зору, доцільно було б отримувати сушені продукти її переробки і використовувати їх у вигляді напівфабрикатів.

Технологій переробки молодшої картоплі небагато. Зокрема, це консервованій у банках продукт «Картопля молода» та деякі інші дієтичні продукти. Нами проведено ряд досліджень щодо можливості переробки молодшої картоплі з метою отримання сушеного напівфабрикату. Оскільки головну роль у технологіях переробки відіграють хіміко-технологічні показники, було проаналізовано кілька сучасних сортів картоплі, які вирощують на території України, найпоширенішими з яких є Слов'янка та Світанок. Ці сорти відрізняються округло-овальною формою бульб з дрібними вічками й м'якоттю, яка майже не темніє при очищенні та нарізанні. Експериментальні дані усередненого хімічного складу зрілої та молодшої картоплі різних сортів представлені в табл. 1.

*Таблиця 1. Усереднений хімічний склад технічних сортів картоплі*

Показник	Вид картоплі	
	Картопля зріла	Картопля молода
Сухі речовини, %	22—26	12,0—14,0
Крохмаль	15,0—18,0	8,0—10,0
Блок, %	1,8—2,2	1,4—1,6
Загальний цукор, %	0,5—1,5	1,3—2,1
Сахароза, %	0,2—0,9	0,8—1,2
Глюкоза	0,2—0,4	0,3—0,5
Фруктоза	0,1—0,2	0,2—0,4
Органічні кислоти	0,1—0,3	0,2—0,3
Пектинові речовини	0,6—0,7	0,5—0,6
Клітковина	0,9—1,0	0,6—0,8
Мінеральні речовини, %	1,1—1,2	0,8—0,9
Інші сполуки, %	1,1—2,0	0,7—1,2
Вітамін С, мг%	10,0—18,0	11,0—16,0

Дані, представлені в табл. 1, підтверджують літературні дані про те, що хімічний склад картоплі залежить від ступеня дозрівання. Очевидно, що ці сорти картоплі містять меншу кількість сухих речовин і крохмалю. У той же час вони відрізняються великою кількістю цукрів, які можуть мати негативний вплив на якість продукту як при сушінні, так і при зберіганні. Крім того, високий вміст моноцукрів у картоплі створює не тільки додаткові труднощі при сушінні, а й призводить до неферментативного потемніння сушеної картоплі в процесі її зберігання, зумовленого реакціями меланоїдиноутворення (цукроамінні реакції).

Для проведення подальших досліджень обраний сорт Слов'янка, який містить невелику кількість крохмалю — 12,0...14,0% в зрілому стані і

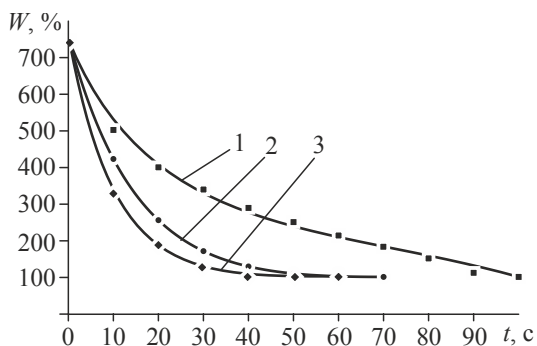
8,0...10,0% в незрілому. Крім того, біла м'якоть цього сорту картоплі не темніє при різанні. Середня маса бульби — 60...100 г.

Серед способів попередньої обробки картоплі використовували сортування, калібрування, миття, інспектування, очищення, оброблення розчинами кислот і солей, доочистку, різання на шматочки і бланшування. Серед цих операцій нас зацікавило нарізання, оскільки форма і розмір шматочків дуже впливають на швидкість сушіння, а отже, і на продуктивність сушильної установки. Відомо, що зі зменшенням товщини шматочків продукту скорочується тривалість зневоднення і прискорюється час відновлення сушеного продукту при його кулінарній обробці. Інтенсифікація процесу сушіння сприяє поліпшенню якості сушеного продукту, зниженню втрат цінних поживних речовин. У класичних технологіях картоплю рекомендується різати на стовпчики перетином  $3 \cdot 5$  мм і довжиною не менше 10 мм, на кубики з розміром граней 5...9 мм і на пластинки товщиною не більше 4 мм і шириною 9...12 мм.

Оскільки від розмірів шматочків безпосередньо залежить тривалість сушіння, нами були проведені відповідні дослідження для молоді картоплі. При цьому помиту і очищену картоплю нарізали традиційними брусочками, кубиками, а також пластинками товщиною 1,5...2 мм. Другий важливий момент у технології сушеної картоплі — бланшування, яке можна проводити як у воді, так і гострою парою. Використання гострої пари для бланшування має ряд своїх переваг і недоліків. Так, з одного боку, цей спосіб більш швидкий і менш витратний, але з іншого — використання гострої пари призводить до високих локальних температур безпосередньо на поверхні шматочків картоплі, погіршення хімічного складу і консистенції. Навпаки, бланшування у воді виключає дію високих локальних температур. У той же час втрачається частина водорозчинних речовин сировини. Нами були проведені дослідження впливу бланшування підготовлених шматочків картоплі у воді при різних температурах на зміну хімічного складу й активність ферментної системи молоді картоплі. Встановлено, що максимальний ефект проявлявся при температурі  $97^{\circ}\text{C}$  — при цьому через 1...2 хв досягалася повна інактивація ферментів, найбільш термостійким серед яких була пероксидаза. Крім цього, вода змивала крохмаль і цукри, що знаходяться на поверхні шматочків, а самі шматочки прогрівалися, що також прискорювало подальший процес їх сушіння [2].

Процес сушіння проводили конвективним способом при температурі сушильного агента (повітря)  $70^{\circ}\text{C}$  і швидкості його руху — 2...3 м/с. Наприкінці сушіння температуру сушильного агента знижували до  $50...^{\circ}\text{C}$  для запобігання можливого потемніння продукту внаслідок можливих меланоїдинових реакцій. Отримані результати дали можливість побудувати криві сушіння різних зразків молоді картоплі. Результати відображені на рис. 1.

Початковий вологовміст зразків картоплі складав близько 730% і залежав від розміру шматочків. При цьому вологовміст у пластинок був дещо вищий за рахунок часткового вимивання з поверхні крохмалю (при бланшуванні) і частини розчинних сухих речовин. Сушіння підготовлених шматочків картоплі проводили до кінцевого вологовмісту 107%. Такий вміст води в кінцевому продукті необхідний для стабільності якості сушеної картоплі при її зберіганні.



**Рис. 1. Криві конвективного сушіння молоді картоплі, нарізаної різними способами:**  
 1 — кубики з розміром граней 5...9 мм; 2 — брусочки перетином 3 × 5 мм і довжиною не менше 10 мм; 3 — пластинки товщиною 1,5...2 мм

Аналізуючи отримані дані, слід зазначити, що прогрівання зразків здійснюється протягом 5...10 хв. Потім відбувається видалення вільної та зв'язаної вологи, при загальній тривалості процесу сушіння 50...95 хв. Час процесу сушіння скорочується зі зменшенням товщини шматочків картоплі і досягає мінімуму при сушінні пластинок товщиною 1,5...2 мм — 45...50 хв. В інших випадках тривалість сушіння картоплі зростає пропорційно товщині нарізаних пластинок і варіюється у межах 50...60 хв. Процес сушіння пластинок є вдвічі коротшим порівняно з сушінням кубиків, тривалість якого складала 95 хв. При цьому енерговитрати на одиницю продукції (для пластинок) склали 3 кВт/год на 1 кг порівняно з кубиками — 4 кВт/год. Таким чином, можна рекомендувати інтенсифікацію процесу сушіння картоплі за рахунок зменшення товщини нарізаних пластинок.

Головним критерієм оцінки продукту є його якісні показники. Згідно з вимогами чинних стандартів сушена картопля з масовою часткою вологи не більше 8% повинна відповідати певним органолептичними та фізико-хімічними показниками. Найбільш важливими з них є такі: масова частка пластинок з темними плямами не більш як 5%, тривалість розварювання — не більше ніж 15 хв протягом усього терміну зберігання (12 місяців), масова частка металевих домішок — не більше 0,0003%, масова частка мінеральних домішок — не більше 0,01%, зараженість шкідниками хлібних запасів і наявність цвілі й підгнилої картоплі не допускається. З огляду на наведені вище вимоги, отримані зразки досліджували за органолептичними та фізико-хімічними показниками. Результати наведені в табл. 2.

*Таблиця 2. Якісні показники сушеної молоді картоплі*

Форма нарізки та розміри	Органолептичні показники висушеного продукту
1	2
Кубики розміром граней 5...9 мм	Колір жовтий, консистенція тверда. Смак і запах властиві сушеній картоплі без сторонніх присмаків і запахів. Відновлюваність у воді — 15 хв.

1	2
Стовпчики перетином 3 × 5 мм і довжиною не менше 10 мм	Колір від білого до жовтого, стовпчики тверді. Смак і запах властиві сушеній картоплі без сторонніх присмаків і запахів. Відновлюваність у воді — 15 хв.
Пластинки товщиною не більше 4 мм	Колір — від білого до жовтого, пластинки — тверді. Спостерігається крихкість. Смак і запах — властиві сушеній картоплі. Зразки без сторонніх присмаків і запахів. Відновлюваність у воді — 15 хв.
Пластинки товщиною 1,5...2 мм	Колір білий, пластини хрусткі, тверді. Спостерігається крихкість. Смак і запах — властиві сушеній картоплі, без сторонніх присмаків і запахів. Відновлюваність у воді — 5 хв.

Як видно з табл. 2, найбільш яскраво виражені показники сушеної картоплі, нарізаної пластинками товщиною 1,5...2 мм.

На підставі проведених досліджень нами були встановлені конкретні режими для різних розмірів нарізаної картоплі, доведена можливість інтенсифікації технології за рахунок нарізання його пластинами товщиною 1,5...2 мм.

### **Висновки**

Розроблено технологію напівфабрикату з молоді картоплі «Картопля молода сушена», досліджено кінетику сушіння молоді картоплі з уточненням режимів сушіння залежно від поставлених завдань, а також способи попередньої підготовки картоплі, які дають змогу отримати продукт з високими якісними показниками.

### **Література**

1. Зоря О.П. Сучасні аспекти підвищення ефективності виробництва плодоовочевої продукції / О.П. Зоря // Вісник Харківського технічного університету сільського господарства: Економічні науки. Вип. 71. — Харків : ХНТУСГ, 2008. — С. 154—160.
2. Атаназевич В.И. Сушка пищевых продуктов / Справочное пособие. — Москва : ДеЛи, 2000. — 296 с.
3. Потапов В.О. Раціональні режими сушіння овочів змішаним тепlopідводом: автореф. дис. канд. техн. наук / В.О.Потапов. — Одеса, 1994. — 16 с.
4. Effect of mode of drying on microstructure of potato / Lewicki Piotr P., Pawlak Grzegorz // Drying Technol. — 2005. — 23, #4. — P. 847—869.
5. Effects of Drying Processes on the Antioxidant Properties in Sweet Potatoes / Jing YANG, Jin-feng CHEN, Yu-ying ZHAO, Lin-chun MAO // Agricultural Sciences. — 2010. — Volume 9, Issue 10. — P. 1522—1529.
6. Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices / Rui Wang, Min Zhanga, Arun S. Mujumdarb // Journal of Food Engineering. — 2010. — Volume 101, Issue 2. — P. 131—139.
7. Phenoli c content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products / Tasahil Albishia, Abdulrahman S. Al-Khalifab, Fereidoon Shahidia // Journal of Functional Foods. — 2013. — Volume 5, Issue 2. — P. 590—600.
8. Патент 112160 Україна МПК А23L 19/12, А23L 3/40, А23В 7/03 (2006.01). Спосіб виробництва напівфабрикату з картоплі «Картопля молода сушена» / Бандуренко Г.М., Бессараб О.С., Малезик І.Ф., Левківська Т.М., Писарев М.Г.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № у 201604758; заявл. 28.04.2016; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23/2016.

## RESOURCE- SAVING TECHNOLOGY OF RECTIFIED ETHYL ALCOHOL

A. Ukrainets, Y. Buliy, P. Shiyan, A. Kuts

*National University of Food Technologies*

<p><b>Key words:</b> <i>Rectification</i> <i>Bottom liquid</i> <i>Ethyl alcohol</i> <i>Hydroselection</i> <i>Recycling</i> <i>Impurities</i></p> <hr/> <p><b>Article history:</b> Received 10.11.2017 Received in revised form 27.11.2017 Accepted 21.12.2017</p> <hr/> <p><b>Corresponding author:</b> A. Ukrainets <b>E-mail:</b> npnuht@ukr.net</p>	<p><b>ABSTRACT</b></p> <p>The technology of rectified ethyl alcohol, which allows to increase the separation efficiency main, part of intermediate and final impurities of alcohol in distillation and rectification plants with minimal water consumption for hydroselection. A hardware-technological scheme of the distillation plant is presented, in accordance with which to conduct hydroselection there is recycling of the bottom liquid of the column for extractive distillation in acceleration column, bottom liquid of acceleration column is in epuration column, and bottoms liquid of alcohol column is in the column for extractive distillation. Studies of the effect of the proposed technology in the production medium are conducted. It is established that its use allows to reduce specific consumption of softened water and energy consumption for heating by up to 80% in comparison with the standard schemes of distillation and rectification plants.</p>
<p><b>DOI:</b> 10.24263/2225-2924-2017-23-6-27</p>	

## РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ РЕКТИФІКОВАНОГО ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

А.І. Українець, Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц

*Національний університет харчових технологій*

*У статті запропоновано технологію ректифікованого етилового спирту, що дає змогу підвищити ефективність видалення головних, частини проміжних і кінцевих домішок спирту в брагоректифікаційних установках з мінімальними витратами води на гідроселекцію. Представлено апаратурно-технологічну схему установки, відповідно до якої для проведення гідроселекції в розгінній колоні здійснюють рециркуляцію кубової рідини колони екстрактивної ректифікації, в етюраційній колоні — кубової рідини розгінної колони, а в колоні екстрактивної ректифікації — кубової рідини спиртової колони. Проведено дослідження ефективності запропонованої технології у виробничих умовах. Установлено, що її використання дає змогу скоротити питомі витрати пом'якшеної води та енерговитрати на її нагрівання до 80% порівняно з типовими схемами брагоректифікаційних установок.*

**Ключові слова:** *ректифікація, кубова рідина, етиловий спирт, гідроселекція, рециркуляція, домішки.*

**Постановка проблеми.** Для отримання високоякісних спиртів категорії «Люкс», «Супер-Люкс», «Пшенична сльоза» необхідне більш глибоке вилучення та концентрування органічних домішок спирту, які негативно впливають як на аналітичні, так і на органолептичні показники товарного спирту. Для цього типові брагоректифікаційні установки (БРУ) дооснащують додатковими колонами — кінцевого очищення, розгінною та колоною екстрактивної ректифікації. Особливістю роботи таких установок є необхідність проведення гідроселекції для вилучення головних і проміжних органічних домішок спирту. Гідроселекція базується на властивостях основної маси домішок збільшувати леткість при зменшенні концентрації спирту в розчині. Для здійснення гідроселекції на одну з верхніх тарілок колони подають гарячу пом'якшену воду або конденсат пари у такій кількості, при якій коефіцієнт ректифікації домішок ( $K$ ) перевищує одиницю.

Аналіз даних фазової рівноваги суміші етиловий спирт–вода–домішка вказує на те, що у слабоконцентрованих водно-спиртових розчинах з концентрацією етанолу в межах 20...30% об. всі органічні домішки, крім метанолу і фурфуролу, мають явно виражений головний характер [1].

Ступінь вилучення ( $\alpha$ ) і кратність концентрування ( $\beta$ ) легких органічних домішок залежить від співвідношення рідинного і парового потоків ( $L/G$ ) та концентрації етанолу по тарілках колони. При сталих витратах потоків живлення та гріючої пари величина  $L/G$  і концентрація спирту по висоті колони залежать від кількості води, що надходить на гідроселекцію.

Для виділення етилового спирту із головної фракції (ГФ) в розгінній колоні витрата гарячої пом'якшеної води на гідроселекцію становить 11,7...26,5 кг/кг абсолютного алкоголю (а. а.) залежно від виду сировини, питома витрата пари — 200% за масою ГФ. З метою більш повного вилучення домішок проводять подвійну гідроселекцію, що передбачає подачу розрахункової кількості води у верхні частини концентраційних зон розгінної та епюраційної колон. При цьому концентрація етилового спирту в кубовій рідині розгінної колони знижується до 6...8% об., а в епюраті — до 20...25% об. За таких умов відбувається більш повне вилучення та концентрування головних і частини проміжних легких домішок, видалення яких дає змогу підвищити якість спирту та полегшити роботу спиртової колони. При цьому у ГФ, що відбирають із конденсатора епюраційної колони, більш ніж у три рази збільшується концентрація складних естерів; концентрація кислот лишається практично без змін; вміст альдегідів дещо знижується при збільшенні подачі води більше 0,72 кг/кг а. а. Витрати гарячої пом'якшеної води на зрошення епюраційної колони становлять 0,55...0,90 кг/кг а. а., введеного в колону. Оптимальні витрати гріючої пари знаходяться в межах 1,8...2,0 кг а. а. бражного дистилату.

Застосування гідроселекції особливо доцільно при вилученні верхніх проміжних домішок (сивушного спирту) в розгінній колоні при концентрації кубової водно-спиртової рідини 4...4,5% об. та нижніх проміжних домішок (вищих спиртів сивушного масла) в колоні екстрактивної ректифікації при концентрації етанолу в кубовій рідині 1,5...3,0% об. [2].

Для проведення гідроселекції рекомендується використовувати пом'якшену воду або конденсат пари температурою 90...92° С. Лютерну воду вико-

ристовуюють у меншій мірі через значний вміст у ній органічних кислот, які сприяють новоутворенню органічних домішок.

Недоліком відомих способів отримання ректифікованого етилового спирту в типових БРУ, оснащених додатковими колонами, є значні витрати гарячої пом'якшеної води або конденсату пари для проведення гідроселекції головних і частини проміжних домішок, а також підвищені енерговитрати на її нагрівання до температури, що відповідає температурі в зонах її подачі у відповідні колони [3; 4].

**Метою дослідження** є розробка ресурсо- та енергозберігаючої технології ректифікованого етилового спирту за рахунок зменшення питомих витрат технологічної води для проведення гідроселекції домішок у розгінній, епюраційній колонах і колоні екстрактивної ректифікації та скорочення енерговитрат на її нагрівання шляхом рециркуляції кубової рідини спиртової, розгінної колон і колони екстрактивної ректифікації при виробництві високоякісних спиртів.

**Викладення основних результатів дослідження.** Для вирішення поставленої завдання авторами запропоновано здійснювати рециркуляцію кубової рідини спиртової колони для проведення гідроселекції в колоні екстрактивної ректифікації, кубової рідини колони екстрактивної ректифікації для гідроселекції в розгінній колонні, а кубової рідини розгінної колони для гідроселекції в епюраційній колоні [5].

Дослідження ефективності запропонованого способу проводились у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод».

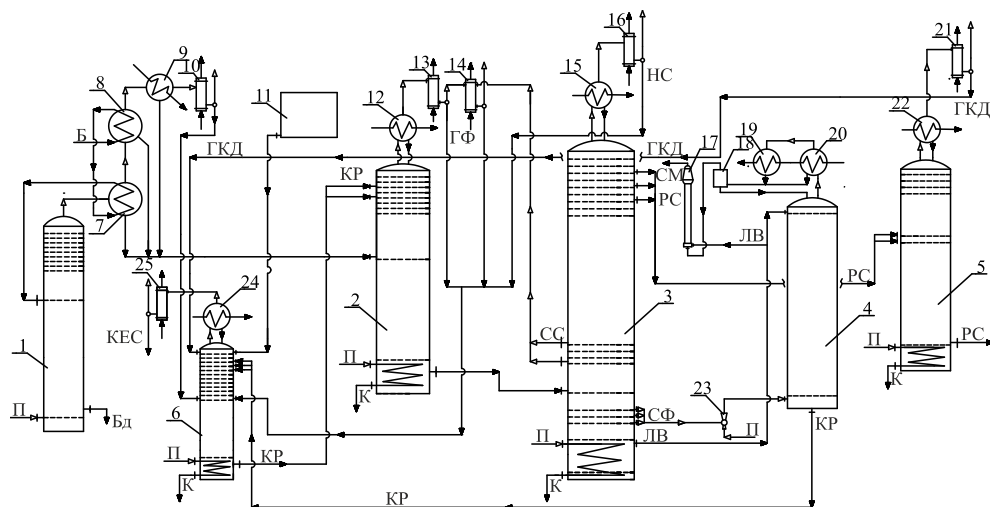
Апаратурно-технологічна схема ресурсо- та енергозберігаючої брагоректифікаційної установки з використанням запропонованого способу гідроселекції летких органічних домішок спирту представлена на рис. 1.

Брагоректифікаційна установка включає бражну, епюраційну, спиртову, розгінну колони, колону екстрактивної ректифікації та колону кінцевої очистки, з'єднаних трубопроводами, а також відповідне теплообмінне обладнання. Для обігріву колон в їх нижні частини подають гріючу пару (П). При закритому обігріві відводять конденсат пари (К). Бражку (Б) послідовно подають через другу 8 та першу 7 секції бражного підігрівача, де нагрівають водно-спиртовою парою бражної колони 1 до температури, близької до температури кипіння, і далі направляють на верхню тарілку бражної колони, в якій відбувається вилучення спирту та супутніх органічних домішок з бражки. Бражний дистилат із бражних підігрівачів 7, 8 та водяної секції підігрівача 9 подають на тарілку живлення епюраційної колони 2, а конденсат пари з конденсатора 10 направляють на тарілку живлення розгінної колони 6. З кубової частини бражної колони 1 відводять барду (БД).

В епюраційній колоні 2 здійснюють концентрування та вилучення головних і частини проміжних домішок спирту. Для цього у верхню зону концентраційної частини колони 2 подають кубову рідину розгінної колони 6. Концентровані домішки у вигляді головної фракції спирту етилового (ГФ) відводять із конденсатора 13 епюраційної колони 2.

Сивушний спирт (СС) відбирають із парової фази 18...23-ї тарілок спиртової колони 3, направляють у міжтрубний простір конденсатора 14 і після їх

конденсації виводять з установки разом з ГФ. Сивушну фракцію (СФ) відбирають із парової фази 5, 7, 9, 11-ї тарілок колони 3. У верхній пастеризаційній частині спиртової колони 3 здійснюють концентрування головних домішок, які не в повній мірі вилучились в епіюраційній колоні 2. Ці домішки у вигляді непастеризованого спирту (НС) відводять через конденсатор 16 разом з ГФ із конденсатора 13, фракціями із конденсаторів 10 і 14 на тарілку живлення розгінної колони 6. Із рідинної фази верхніх тарілок концентраційної частини спиртової колони 3 відбирають ректифікований спирт (РС) і направляють на тарілку живлення колони кінцевої очистки 5, верхня частина якої з'єднана з дефлегматором 22 і конденсатором 21. У колоні 5 відбувається очищення спирту від головних і кінцевих домішок (ГКД), які відбирають із конденсатора 21 і далі направляють на верхню тарілку розгінної колони 6.



**Рис. 1. Ресурсо- та енергозберігаюча брагоректифікаційна установка для отримання ректифікованого спирту високої якості**

Колони: 1 — бражна; 2 — епіюраційна; 3 — спиртова; 4 — екстрактивної ректифікації; 5 — кінцевої очистки; 6 — розгінна; 7, 8 — бражний підігрівач; 9 — водяна секція бражного підігрівача; 10, 13, 16, 19, 21, 25 — конденсатори; 12, 15, 20, 22, 24 — дефлегматори; 14 — конденсатор сивушного спирту; 11 — напірний збірник гарячої пом'якшеної води; 17 — екстрактор сивушного масла; 18 — декантатор; 23 — паровий ежектор.

Умовні позначення: Б — бражка; БД — барда; ГКД — головні та кінцеві домішки; ГФ — головна фракція спирту етилового; ЛВ — лютерна вода; СМ — сивушне масло; СФ — сивушна фракція; РС — ректифікований спирт; НС — непастеризований спирт; СС — сивушний спирт; КЕС — концентрат естеро-сивушний; К — конденсат; КР — кубова рідина; П — пара

З нижньої частини колони кінцевої очистки 5 відбирають товарний ректифікований спирт. Пари (СФ) змішують з грючою водяною парою в ежекторі 23 і подають в кубову частину колони екстрактивної ректифікації 4. На її верхню тарілку подають гарячу лютерну воду (ЛВ) з кубової частини спиртової колони 3. У колоні 4 відбувається вилучення та концентрування спиртів сивушного масла (СМ). Конденсат парів СМ із дефлегматора 20 та



конденсатора 19 направляють в декантатор 18, де відбувається розшарування суміші: рідину із нижньої частини декантатора 18 повертають у вигляді флегми на верхню тарілку колони 4, а СМ направляють в екстрактор 17. В нижню його частину подають лютерну воду для промивання масла. Концентроване СМ у вигляді товарного продукту відбирають з верхньої частини екстрактора 17.

Використання ЛВ спиртової колони для проведення гідроселекції у колоні екстрактивної ректифікації не впливає на якість ректифікованого спирту, оскільки звільнена від вищих спиртів сивушного масла кубова рідина колони екстрактивної ректифікації з низьким вмістом етилового спирту (1,5...3,0% об.) подається у концентраційну зону розгінної колони, в якій відбувається вилучення проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла, та їх концентрування.

Кубову рідину (КР) колони 4 направляють на 3...5-у тарілки, рахуючи зверху, розгінної колони 6 для гідроселекції проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла, та їх концентрування. На верхню тарілку колони 6 із збірника 11 подають гарячу пом'якшену воду для зниження концентрації етилового спирту в кубовій частині до розрахункової. В процесі розділення спиртовмісних фракцій в колоні 6 флегму із дефлегматора 24 повертають на верхню тарілку колони, а концентрат естерово-сивушний (КЕС) відводять із установки із конденсатора 25.

Для здійснення гідроселекції в епіюраційній колоні 2 у верхню зону її концентраційної частини подають очищену від головних та частини проміжних домішок кубову рідину (КР) розгінної колони 6.

Облік конденсату пари для гідроселекції домішок в розгінній колоні, кубової рідини розгінної колони і лютерної води спиртової колони здійснюють за допомогою відповідних витратомірів.

Питомі витрати гарячої пом'якшеної води або конденсату пари для проведення гідроселекції домішок та питомі енерговитрати на нагрівання води (в перерахунку на 1 кг а.а., введеного в колону) відповідно до типового і запропонованого способів (табл. 1 і 2).

**Таблиця 1. Питомі та загальні витрати технологічної води для проведення гідроселекції домішок**

Спосіб	Питомі витрати технологічної води в колонах, дм <sup>3</sup> /кг а. а.			Загальні витрати технологічної води	
	розгінна	епіюраційна	екстрактивної ректифікації	дм <sup>3</sup> /кг а. а.	%
Типовий	4,7	0,7	18,1	23,5	100
Запропонований	4,7	—	—	4,7	20

**Таблиця 2. Питомі та загальні енерговитрати на нагрівання технологічної води для гідроселекції домішок**

Спосіб	Питомі енерговитрати на нагрівання води для проведення гідроселекції в колонах, кДж/кг а.а.			Загальні енерговитрати	
	розгінна	епіюраційна	екстрактивної ректифікації	кДж/кг а. а.	%
Типовий	590,8	88,0	2275,2	2951,0	100
Запропонований	590,8	—	—	590,8	20

Згідно із запропонованим способом для гідроселекції домішок в епіюраційній колоні використовують кубову рідину розгінної колоні, а для проведення гідроселекції в колоні екстрактивної ректифікації — кубову рідину спиртової колоні, тому витрати гарячої пом'якшеної води або конденсату пари в епіюраційній колоні і колоні екстрактивної ректифікації відсутні.

Запропонований спосіб дає змогу скоротити питомі витрати технологічної води та енерговитрати на її нагрівання до 80% за рахунок рециркуляції кубової рідини спиртової, розгінної колон та колоні екстрактивної ректифікації, що підтверджують дані, наведені в табл. 1 і 2.

### Висновки

Результати експериментальних досліджень довели переваги запропонованого способу:

1. Використання кубової рідини спиртової колоні для проведення гідроселекції в колоні екстрактивної ректифікації дає змогу скоротити витрати технологічної води на 82% порівняно з відомим способом і підвищити ефективність вилучення летких проміжних домішок.

2. Подача спиртовмісних фракцій, збагачених органічними домішками, з конденсаторів епіюраційної та спиртової колон на тарілку живлення розгінної колоні, кубової рідини колоні екстрактивної ректифікації вище тарілки живлення (3...5-у тарілки, рахуючи зверху), а гарячої пом'якшеної води для гідроселекції домішок на верхню її тарілку знижує концентрацію етилового спирту на верхніх тарілках концентраційної частини розгінної колоні, завдяки чому скорочуються витрати води на гідроселекцію до 30%.

3. Подача кубової рідини колоні екстрактивної ректифікації на 3...5-у тарілки, рахуючи зверху, розгінної колоні дає змогу утворити зону для ефективного концентрування проміжних домішок, включаючи компоненти сивушного масла.

4. Енерговитрати на нагрівання технологічної води до температури, що відповідає температурі в зонах її подачі у відповідні колоні, скорочуються на 80% за рахунок рециркуляції кубової рідини спиртової, розгінної колоні та колоні екстрактивної ректифікації.

### Література

1. Технологія спирту. В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, В.М. Швець, П.С. Циганков, І.Д. Жолнер / Під ред. проф. В.О.Маринченко. — Вінниця : «Поділля-2000», 2003. — 496 с.

2. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійничук. — Київ : Видавничий дім «Асканія», 2009. — 424 с.

3. Патент RU на изобретение № 2243812, МПК В01 D3/14 «Способ получения ректификованного спирта» / Перегугин В.М., Паршина Т.А., Никитина С.Ю. — Оpubл. 10.01.2005.

4. Никитина С.Ю. Самотехника и методики расчетов брагоректификационных установок: монографія / С.Ю. Никитина, Воронежский ГАСУ. — Воронеж, 2013. — 208 с.

5. Патент України на корисну модель № 119277, МПК В01D 3/14. Спосіб отримання ректифікованого спирту / Булій Ю.В., Шиян П.Л., Дмитрук А.П., Дмитрук П.А. — Заявлено 23.01.17; Оpubл. 25.09.17, Бюл. № 18.

## INVESTIGATION OF DINAMICAL VISCOSITY OF WATER SUSPENSION OF SHIITAKE SPOROCARP

N. Sharkova, E. Zhukotsky, G. Dekusha, L. Kostyanets

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Aqueous colloid-dispersed suspension of the fruit body of the shiitake fungus*

*Dynamic viscosity Technological regimes Rotary pulsation apparatus*

*Discrete-impulse energy input method*

---

**Article history:**

Received 09.11.2017

Received in revised form 23.11.2017

Accepted 22.12.2017

---

**Corresponding author:**

N. Sharkova

**E-mail:**

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

---

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-28

---

**ABSTRACT**

The article presents the investigations of reducing the viscosity of an aqueous colloid-dispersed suspension of the fruit body of shiitake mushroom with the aim of its further spray drying. The influence of thermotechnological regimes, additives and design features of equipment on its rheological properties is determined. The most significant influence on the decrease of the viscosity of the mushroom suspension is caused by the growth of the hydromodule, temperature and addition of a structuring additive  $\beta$ -cyclodextrin. The quality category of the mushroom, its structural parts and the type of structure of the rotary-pulsating equipment had the least effect on its rheological properties.

---

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ ВОДНОЇ СУПЕНЗІЇ ПЛОДОВОГО ТІЛА ГРИБА ШИЇТАКЕ

Н.О. Шаркова, Е.К. Жукотський, Г.В. Декуша, Л.О. Костянець

*Національний університет харчових технологій*

*У статті вивчено можливість зниження в'язкості водної колоїдно-дисперсної суспензії плодового тіла гриба шиїтаке з метою подальшої її подачі на розпилювальне сушіння. Визначено вплив теплотехнологічних режимів, добавок і конструктивних особливостей обладнання на реологічні властивості грибної суспензії. Встановлено, що збільшення гідромодуля, температури та кількості внесеної структуруючої добавки —  $\beta$ -циклодекстрину найкращим чином сприяють зниженню в'язкості грибної суспензії. Категорія якості гриба, його структурні частини та тип конструкції роторно-пульсаційного апарата мали найменший вплив на її реологічні властивості.*

**Ключові слова:** *водна колоїдно-дисперсна суспензія плодового тіла гриба шиїтаке, динамічна в'язкість, технологічні режими, роторно-пульсаційний апарат, метод дискретно-імпульсного введення енергії.*

**Постановка проблеми.** Сьогодні у всьому світі зростає зацікавленість до східної фунготерапії — традиційного способу лікування цілющими грибами. Серед них японський гриб шіітаке за останні десятиліття став справжньою сенсацією і в загальному світовому об'ємі вирощування грибів посідає третє місце (12,3%) після шампінйонів і гливи [1; 2]. Західна медицина вкладає колосальні кошти в дослідження шіітаке і наукові дослідження однозначно підтверджують лікувальні властивості гриба: протипухлинні, імуномодуючі, антивірусні, антиоксидантні, сорбційні [3—7].

Унікальні властивості гриба проявляються завдяки його незвичайному хімічному складу (білки — 10...17%, жири — 0,6...8,0%, вуглеводи — 67...78%, зола — 3,7...10% за сухою масою). Зокрема, гриб містить унікальний комплекс полісахаридів з імуномодельючими властивостями, білки, які містять всі незамінні для людини амінокислоти, комплекс вітамінів, незамінні поліненасичені жирні кислоти, широкий спектр найважливіших макро- і мікроелементів, серед яких ідефіцитний у нашому харчуванні селен.

Тому сьогодні створення новітніх продуктів і дієтичних лікувально-оздоровчих добавок на основі гриба шіітаке можна віднести до ефективних способів підтримуючої імунотерапії при низці захворювань. До того ж для гриба шіітаке характерна простота цілорічного вирощування, висока врожайність, екологічність і, відповідно, рентабельність [1].

При виробництві сухих порошкових форм плодівих тіл базидіальних грибів застосовують, як правило, конвективне сушіння або сушіння інфрачервоними променями з подальшим сухим помелом висушеного матеріалу. Ці способи сушіння мають ряд недоліків: тривалість у часі, недостатня ступінь дисперсності порошоків і низькі мікробіологічні показники, до того ж отримані порошки можуть використовуватись лише після додаткової термічної обробки. Для усунення зазначених вище недоліків авторами запропоновано використання методу розпилювального сушіння при створенні нових продуктів на основі гриба шіітаке для лікувально-оздоровчого харчування.

У зв'язку з практичним інтересом до полісахаридів лікувального гриба шіітаке особлива роль відводиться реологічним властивостям розчинів полісахаридів, для яких характерна аномальна в'язкість.

**Метою статті** є дослідження реологічних властивостей грибної суспензії плодового тіла гриба шіітаке, отриманої при різних теплотехнологічних режимах гідродинамічної обробки із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) та встановлення раціональних режимів її отримання для подальшої подачі на розпилювальне сушіння.

**Матеріали і методи.** Матеріалами для проведення експериментальних досліджень є водна колоїдно-дисперсна грибна суспензія плодового тіла гриба шіітаке та функціональні добавки (хлористий натрій, мальтодекстрин і  $\beta$ -циклодекстрин).

Динамічну в'язкість усіх зразків грибної суспензії визначали на ротаційному віскозиметрі Brookfield DV-E (виробник США). При порівнянні в'язкостей ньютонівських рідин при всіх її вимірюваннях використовували одне й те саме поєднання — «швидкість обертання — шпindel». Дане поєднання обирали таким чином, щоб діапазон вимірів знаходився між 45 і 95% поділ-

ками повної шкали. Всі дослідження динамічної в'язкості зразків грибної суспензії проводили на шпинделі № 64 при швидкості обертів  $50 \text{ хв}^{-1}$ .

Для обробки отриманих результатів експериментальних досліджень використано статистичні та математичні методи.

**Результати і обговорення.** При підготовці гриба шиїтаке до сушіння основним технологічним етапом є процес отримання водної колоїдно-дисперсної системи гриба, який складається з його попереднього подрібнення та подальшої гідродинамічної обробки. Матеріал, який подається на розпилювальне сушіння, повинен бути певної консистенції і характеризуватись значеннями динамічної в'язкості  $0,6 \dots 0,8 \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

Для отримання водної дисперсії плодового тіла гриба шиїтаке нами досліджено можливість застосування розробленого в ІТТФ НАН України методу ДІВЕ, що реалізований у роторно-пульсаційних апаратах (РПА) різних типів і успішно зарекомендував себе в багатьох харчових технологіях при гідродинамічній обробці різноманітних складних багатокomпонентних гетерогенних систем для отримання стійких дисперсій за умов не значних енерговитрат [8; 9].

У ході досліджень грибної суспензії встановлено, що при диспергуванні гриба шиїтаке за допомогою методу ДІВЕ без внесення води або з мінімальною її кількістю утворюється стійка нерухома колоїдно-дисперсна суспензія гелеподібної консистенції, яка унеможливує подальший процес подачі її в розпилювальну сушарку. Нами проведено комплекс експериментальних досліджень щодо визначення впливу виду диспергуючого обладнання, принцип роботи яких заснований на механізмах ДІВЕ, та різних тепло-технологічних режимів на зниження в'язкості грибної суспензії, а саме: конструкція РПА, зміна гідромодуля, температури грибної суспензії та внесення структуруючих добавок.

Вплив типу РПА на зміну динамічної в'язкості водної грибної суспензії визначали на двох РПА, розроблених і виготовлених в ІТТФ НАН України:

1. РПА-Л, що складається із 2 роторів та 1 статора,  $n = 3000 \text{ об./хв}$ ;
2. РПА-Ж, що складається із 2 статорів та 1 ротора,  $n = 6000 \text{ об./хв}$ .

Паралельно визначали вплив росту гідромодуля від 1 до 2 (за масою) та температури ( $t = 20 \dots 80^\circ \text{C}$ ) на зміну динамічної в'язкості грибної суспензії.

До наважки дрібних плодових тіл гриба шиїтаке, попередньо подрібнених до розмірів  $2 \dots 3 \text{ мм}$ , додавали у необхідній кількості воду температурою  $t = 20^\circ \text{C}$  і диспергували в РПА певного типу. Динамічну в'язкість отриманого зразка грибної суспензії вимірювали при температурах  $20^\circ \text{C}$ ,  $40^\circ \text{C}$ ,  $60^\circ \text{C}$  і  $80^\circ \text{C}$ . Результати зміни динамічної в'язкості грибної суспензії залежно від конструкції РПА, гідромодуля й температури наведено на рис. 1.

Залежності, наведені на рис. 1, свідчать, що на зниження в'язкості грибної суспензії найсуттєвіший вплив чинить ріст гідромодуля: в межах від 1 до 2 при  $20^\circ \text{C}$  в'язкість суспензії зменшується в середньому в 3 рази (з  $3,2$  до  $1,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ) незалежно від конструкції РПА. При нагріванні всіх зразків водної грибної суспензії від  $20$  до  $80^\circ \text{C}$  їх в'язкість знижується в середньому в 2 рази.

Зниження динамічної в'язкості грибної суспензії з ростом температури можна пояснити тим, що полісахариди, які складають більшу частину гриба за сухою масою, відносяться до аморфних речовин. Їх макромолекули розміщені не щільно і в результаті нагрівання між гнучкими ланцюгами полі-

сахаридів утворюються отвори, в які проникають молекули розчинника і в'язкість грибної суспензії знижується.

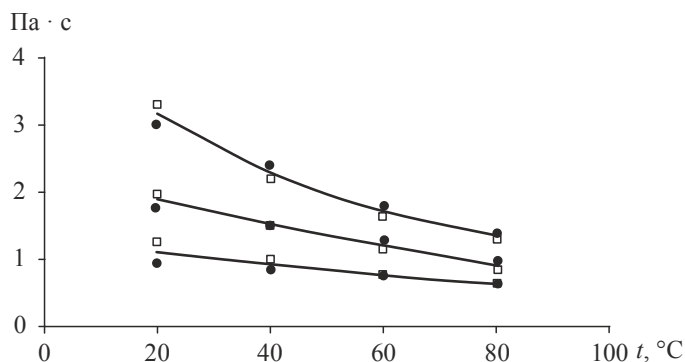


Рис. 1. Залежність динамічної в'язкості грибної суспензії, що приготовлена на РПА різних конструкцій (□ — РПА-Л, ● — РПА-Ж) від температури при гідромодулях: 1 — гідромодуль 1; 2 — гідромодуль 1,5; 3 — гідромодуль 2

Найменше на в'язкісні характеристики грибної суспензії впливали конструкційні особливості РПА, для подальшої роботи було обрано РПА-Ж.

Виходячи з отриманих результатів, для проведення подальших досліджень використовували водну грибну суспензію, приготовлену із гідромодулем 1,5.

Відомо, що порівняно з шапками, ніжки грибів містять більше хітину (масове співвідношення ніжка:шапка складає 1:3) — азотвмісного полісахариду, який надає структурної міцності клітинним оболонкам гриба. Проведено порівняння в'язкісних показників зразків грибних суспензій, виготовлених із цілих грибів та їх структурних частин різної категорії якості: дрібних грибів, несортових грибів і шапок несортових грибів. Усі зразки приготовлено, як описано вище (гідромодуль грибної суспензії 1,5, РПА-Ж, діапазон температури 20...80° С). Залежність динамічної в'язкості зразків грибної суспензії, виготовлених із різних частин плодового тіла гриба шийтаке, від температури наведено на рис. 2.

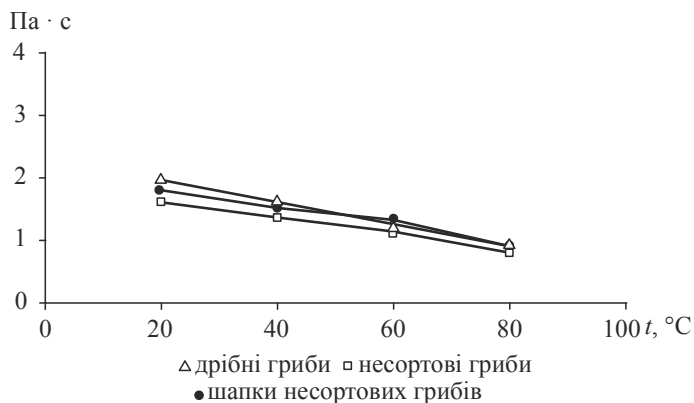
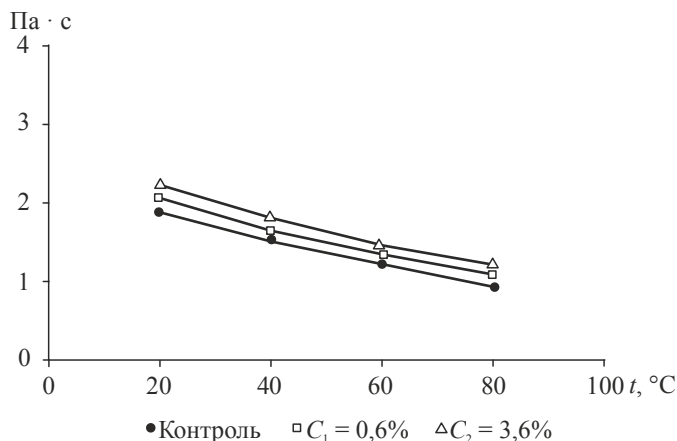


Рис. 2. Залежність динамічної в'язкості зразків грибної суспензії, виготовлених із різних частин гриба шийтаке, від температури

З отриманих залежностей (рис. 2) видно, що всі зразки грибної суспензії близькі за значеннями у всьому діапазоні температур, тому далі використовували цілі несортіві гриби. Окрім того, що вони мають аналогічний до дрібних грибів хімічний склад, їх доцільніше використовувати і з економічної точки зору — несортіві гриби шийтаке в 1,5 раза дешевші за дрібні гриби. Станом на квітень 2017 р. вартість 1 кг цілих сортівих дрібних грибів становила 90 грн, несортівих — 60 грн/кг.

У харчоконцентратній промисловості при розпилювальному сушінні продуктів рослинного походження, що містять складні високомолекулярні сполуки, вносять структуруючі добавки, які сприяють покращенню умов перебігу процесу сушіння, покращують якість, функціональні та смакові властивості висушеного продукту. Для підбору найбільш ефективної добавки, яка могла б знизити в'язкість суспензії, не погіршуючи при цьому інші функціональні властивості суспензії, нами досліджено вплив деяких речовин на в'язкість грибної суспензії: хлористий натрій, мальто- та  $\beta$ -циклодекстрин.

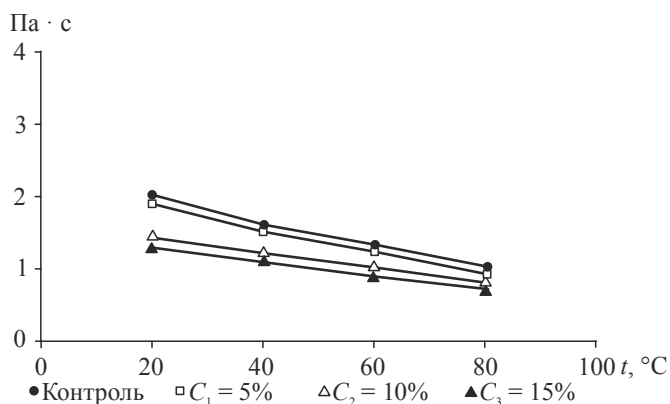
Залежність в'язкості зразків грибної суспензії з масовою концентрацією хлористого натрію (NaCl):  $C_1 = 0,6\%$ ,  $C_2 = 3,6\%$  (від загальної маси зразка) та контролю (умови приготування як і в попередніх дослідах) від температури наведено на рис. 3.



**Рис. 3. Залежність динамічної в'язкості грибної суспензії при різних масових частках хлористого натрію від температури**

З рис. 3 видно, що при загальному зниженні динамічної в'язкості всіх зразків з ростом температури з 20 до 80° С в 2 рази додавання хлористого натрію до суспензії призводить до підвищення її в'язкості на 15...20% порівняно з контролем у всьому діапазоні температур.

При роботі з грибами шийтаке до суспензії додавали харчову добавку мальтодекстрин з декстрозним еквівалентом (DE) 18, який використовується як стабілізуюча добавка у харчових об'єктах розпилювального сушіння: у спортивному харчуванні та дитячих сумішах [10]. Залежність динамічної в'язкості грибної суспензії з масовою часткою мальтодекстрину  $C = 5...15\%$  від температури наведено на рис. 4.

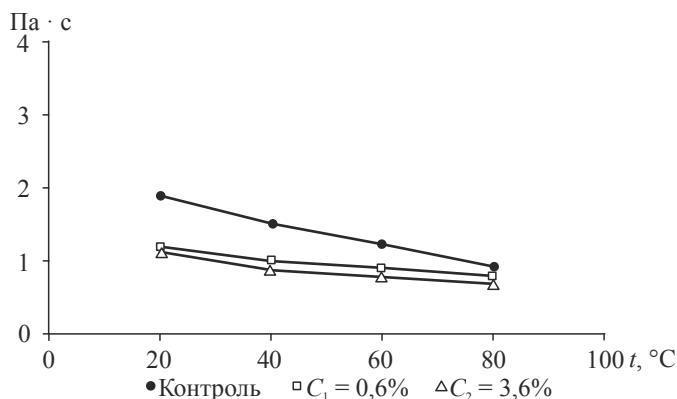


**Рис. 4.** Залежність динамічної в'язкості грибною суспензії при масових частках мальтодекстрину від температури

Як видно з рис. 4, більш істотне зниження в'язкості грибною суспензії (від 25...30%) з внесенням мальтодекстрину у кількості  $\geq 10\%$  відбувається вже при температурі  $20^\circ\text{C}$ , що є важливим технологічним фактором для подачі продукту на розпилювальну сушарку.

$\beta$ -циклодекстрини давно зарекомендували себе як ефективний інструмент для створення препаратів з покращеними властивостями. Це циклічний олігомер із 7 залишків глюкози, отриманий ферментативним шляхом із крохмалю. На зовнішній стороні кільця розташовані гідрофільні групи, а в центрі кільця — відносно неполярна порожнина-кларат, де можуть розміщуватись невеликі молекули. Завдяки своїй структурі вони здатні до молекулярної інкапсуляції речовин, допомагають підвищити розчинність, біодоступність і стабільність матеріалів, маскують небажаний смак і запах, завдяки чому широко використовується у фармацевтиці та косметичній промисловості [11].

На рис. 5 наведено залежність динамічної в'язкості зразків грибною суспензії з внесенням  $\beta$ -циклодекстрину —  $C_1 = 2,5\%$  та  $C_2 = 5\%$  в температурному діапазоні  $20...80^\circ\text{C}$ .



**Рис. 5.** Залежність динамічної в'язкості водної грибною суспензії при різних масових частках  $\beta$ -циклодекстрину від температури



В'язкість зразків водної грибної суспензії із ростом в ній масової частки  $\beta$ -циклодекстрину до 5% і температури до 80° С зменшується порівняно з контролем в 1,6 раза і досягає необхідних значень — 0,6...0,8 Па · с. Подальше збільшення масової частки  $\beta$ -циклодекстрину в грибній суспензії не призводить до суттєвого розрідження суспензії і є недоцільним.

### Висновки

Встановлено, що необхідні для подачі в розпилюючу сушарку реологічні показники грибної суспензії, які знаходяться в межах 0,6...0,8 Па · с, досягаються при гідромодулі приготування суспензії — 1,5 та нагріванні її до температури 80° С. Введення декстриновмісних добавок дає змогу знизити в'язкість грибної суспензії на 25...35% у всьому діапазоні температур.

### Література

1. Гриби [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://ikc.belapk.ru/assets/files/issledovaniya/griby\\_2015.pdf](http://ikc.belapk.ru/assets/files/issledovaniya/griby_2015.pdf).
2. Сімахіна Г.О. Виробництво сухого грибного напівфабрикату для збагачення харчових раціонів / Г.О. Сімахіна, І.Ю. Гойко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2015. — Т. 21, № 2. — С. 190—196.
3. «Наука и жизнь». Японский гриб шиитаке [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.nkj.ru/archive/articles/2832>.
4. Технологии грибоводства [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://wer23sd.narod.ru/inf.html>.
5. Richard Sullivan Medicinal Mushrooms: Their therapeutic properties and current medical usage with special emphasis on cancer treatments. — 2002. — 256 p.
6. Brauer D. Potential for manipulating the polysaccharide content of shiitake mushrooms / D. Brauer, T.E. Kimmons, M. Phillips // Applied microbiology and Biotechnology. — 2010. — P. 1136—1142. — ISSN 0175-7598.
7. Fungi applications and menegment strategies / Editors S.K. Deshmukh, J.K. Misra, J.P. Tewari, Tamas Papp International Standart Book Number-13: 978-1-4987-2492-0. — 472 p.
8. Долинский А.А. Принципы разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе метода дискретно-импульсного ввода энергии / А.А. Долинский, Г.К. Иваницкий // Промышленная теплотехника. — 1997. — Т. 19. — № 4—5. — С. 13—15.
9. Промттов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. Москва :Машиностроение, 2001. — 260 с.
10. Литвяк В.В. Получение и исследование мальтодекстринов / В.В. Литвяк // Пищевая промышленность: наука и технологии — 2014. — № 4(26) — С. 15—27.
11. Elham Blouet Нативные и модифицированные циклодекстрины KLEPTOSE: многофункциональные вспомогательные вещества для молекулярной инкапсуляции // Спеціальний випуск «Інгредієнти для фармації». «Фармацевтическая отрасль». — 2015. — № 5(52). — С. 52—56.

## **SYNTHESIS OF 2-(4'-PIPERIDYLMETHYL)-2,3-DIHYDRO-1H-BENZO[DE]ISOQUINOLINE-1,3-DIONE AND ITS N-DERIVATIVES**

**O. Maiboroda, N. Simurova, S. Kovaleva**

*National University of Food Technologies*

**V. Britsun**

*State Institution "O.M. Marzeiev Institute for Public Health" NAMSU*

---

**Key words:**

*Synthesis  
Naphthalic anhydride  
2,3-dihydro-1H-benzo[de]  
isoquinoline-1,3-diones  
Amides  
Sulfonamides  
Potential biological  
activity*

---

**ABSTRACT**

In this paper, there was described previously unknown 2-(4'-piperidylmethyl) -2,3-dihydro-1H-benzo [de]isoquinoline-1,3-dione and a number of its N-derivatives. The optimal reaction conditions of 1,8-naphthalic anhydride with 4-(aminomethyl) piperidine were established, and the desired product with high yield was obtained. The introduced piperidinium fragment was used for further functionalization of the molecule. To identify the synthesized products, modern physicochemical methods of analysis were used, in particular, NMR <sup>1</sup>H spectroscopy. The resulting amide derivatives of 1,8-naphthalene dicarboxylic acid are promising for further study as biologically active compounds, antidotes, and also fluorescent probes.

---

**Article history:**

Received 15.11.2017  
Received in revised form  
04.12.2017  
Accepted 26.12.2017

---

**Corresponding author:**

O. Maiboroda

**E-mail:**

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

**DOI:** 10.24263/2225-2924-2017-23-6-29

---

## **СИНТЕЗ 2-(4'-ПІПЕРИДИЛМЕТИЛ)-2,3-ДИГІДРО-1H-БЕНЗО[DE]ІЗОХІНОЛІН-1,3-ДІОНУ ТА ЙОГО N-ПОХІДНИХ**

**О.І. Майборода, Н.В. Сімунова, С.О. Ковальова**

*Національний університет харчових технологій*

**В.М. Брицун**

*Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»*

*У статті охарактеризовано невідомі раніше 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон і ряд його N-похідних. Встановлено оптимальні умови реакції 1,8-нафталевого ангідриду з 4-(амінометил)піперидином, що дало змогу отримати цільовий продукт із високим виходом. Введений піперидиновий фрагмент застосовано для подальшої функціоналізації моле-*

кули. Для ідентифікації синтезованих сполук використано сучасні фізико-хімічні методи аналізу, зокрема ЯМР<sup>1</sup>H спектроскопію. Одержані похідні амідів 1,8-нафталендикарбонової кислоти є перспективними для подальшого вивчення як біологічно активні сполуки, антидоти та флуоресцентні зонди.

**Ключові слова:** синтез, нафталевий ангідрид, 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діони, аміди, сульфонаміди, потенційна біологічна дія.

**Постановка проблеми.** Похідні амідів 1,8-нафталендикарбонової кислоти (2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діони) є універсальним класом сполук, що широко досліджується в наш час у зв'язку з широким спектром корисних властивостей, притаманних цим речовинам. Так, поряд з незвичними флуоресцентними, фотофізичними та електрохімічними властивостями [1—6], вони мають антидотну активність [7], пригнічують дію певних ферментів (dynI-GTPase) [8] тощо. Перелічені характеристики нафталімідів суттєво залежать від природи замісників у молекулі. Саме тому отримання нових похідних 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону з метою дослідження їх потенційно корисних властивостей є актуальним і важливим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з літературними даними, розвиток хімії функціональних похідних 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діонів зосереджений як на синтезі нових сполук цієї групи, так і на пошуку нових галузей їх застосування. Велика кількість праць за останні 10 років, присвячена цій темі, пояснюється доступністю вихідних реагентів, можливістю вводити в молекулу замісники, що змінюють її фармакофорні, фотофізичні, флуоресцентні властивості тощо. Одним із напрямків досліджень є вивчення цитотоксичності та протипухлинної дії, механізму взаємодії похідних 1,8-нафталену на живі клітини [11]. Триває пошук нових *N*-похідних 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону для використання як внутрішньоклітинних та міжклітинних рН-сенсорів [9], флуоресцентних барвників-зондів для фарбування мітохондрій [10]. Нещодавно серед похідних 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону знайдено сполуки, що є антидотами, які зменшують токсичну дію гербіцидів різних класів на культурні рослини [7]. Варто відзначити низьку токсичність 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діонів для теплокровних тварин (ЛД > 1000 мг/кг) [7], що дає змогу використовувати їх у фармацевтичних композиціях [6].

**Метою дослідження** є синтез невідомих раніше речовин — 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону та продуктів його *N*-ацилювання та *N*-сульфонування як потенційно біологічно активних об'єктів.

**Викладення основних результатів дослідження.** Для синтезу 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону **3** нами була застосована конденсація 1,8-нафталенового ангідриду **1** з 4-(амінометил)піперидином **2** (схема 1). З'ясовано, що для проведення даної реакції потрібна досить висока температура. Реакція перебігає при нагріванні реагентів у диметилсульфоксиді (ДМСО) до кипіння. Вихід сполуки **III** при кип'ятінні протягом 2 год сягає 87% (схема 1), а подальше нагрівання не призводить до збільшення кількості цільового продукту.

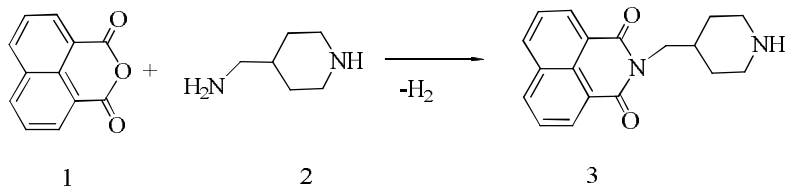


Схема 1

Сполука **3** — кристали жовтуватого відтінку, добре розчинні в органічних розчинниках і майже нерозчинні у воді.

Спектр ЯМР<sup>1</sup>H 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону **3** наведений на рис. 1

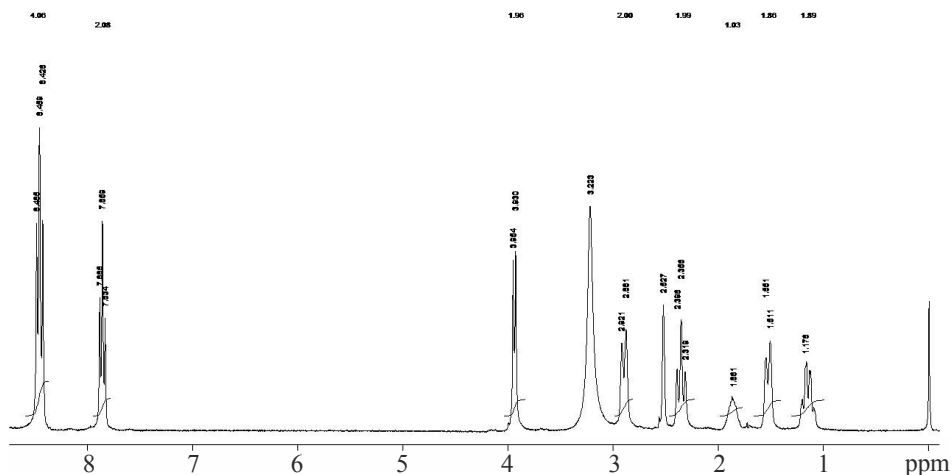


Рис. 1. Спектр ЯМР<sup>1</sup>H 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону в розчині ДМСО-*d*<sub>6</sub>

Сульфоніламиди **4a-e** та аміди **7a-f** були одержані реакціями 2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону **3** з сульфонілхлоридами **5a-e** та хлорангідридами **6a-f** відповідно (схема 2). Реакцію проводили в бензені, а як акцептор хлороводню застосовували триетиламін. Вихід цільових сполук **4a-e** і **7a-f**, відповідно, 68—81 і 62—80%.

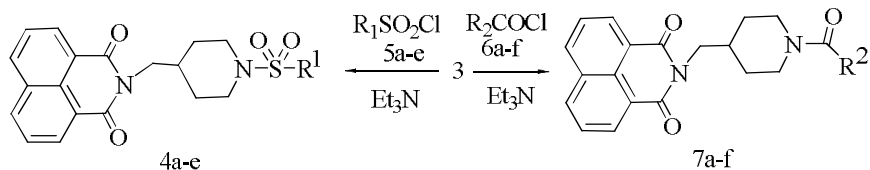


Схема 2: **4a,5a** R<sup>1</sup> = Ph; **4b,5b** R<sup>1</sup> = *транс*-PhCH=CH; **4c,5c** R<sup>1</sup> = 4-FC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>; **4d,5d** R<sup>1</sup> = 2-тісніл; **4e,5e** R<sup>1</sup> = 8-хінолініл; **6a,7a** R<sup>2</sup> = 3,4-метилendioксифеніл; **6b,7b** R<sup>2</sup> = (фенілсульфоніл)-1-циклопропіл; **6c,7c** R<sup>2</sup> = (2,4-дихлорфенокси)метил; **6d,7d** R<sup>2</sup> = *транс*-PhCH=CH; **6e,7e** R<sup>2</sup> = *транс*-2-(3',4'-диметоксифеніл)етеніл; **6f,7f** R<sup>2</sup> = *транс*-2-(2'-фураніл)етеніл

Ідентифікацію продукту конденсації нафталенового ангідриду з амінометилпіперидином, одержаних на його основі амідів і сульфонамідів, здійснювали за допомогою ЯМР  $^1\text{H}$  спектроскопії. Так, у спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  усіх синтезованих сполук спостерігаються два мультиплетні сигнали протонів нафталенового циклу  $\text{H}_{\text{нафтал}}$  (7,85—7,89 і 8,45—8,49 м. д.) і сигнали протонів екзоциклічної групи  $\text{N-CH}_2$  (3,91—4,00 м. д.). У спектрах сполук **3** і **4a-e** характеристичними є мультиплетні сигнали протонів ендациклічного метинового  $\text{CH-фрагменту}$  піперидинового кільця (1,77—1,91 м. д.). У спектрах сполук **7a-f** ці сигнали проявляються в дещо слабшому полі (2,06—2,13 м. д.). Сигнали протонів метиленових ланцюжків піперидинового гетероциклу сполук **3**, **4a-e** наявні у вигляді чотирьох груп мультиплетних сигналів (1,17—1,34, 1,52—1,75, 2,21—2,35 і 3,59—3,61 м. д.). Сигнали протонів груп  $3\text{-CH}_2$  і  $5\text{-CH}_2$  сполук **7a-f** зміщені у бік слабшого поля (2,83—3,04, 3,99—4,00). Наведені дані спектроскопії ЯМР  $^1\text{H}$  свідчать, що піперидиновий фрагмент молекули є неплоским.

*Експериментальна частина.* Усі використані розчинники та органічні основи використовувались після додаткового очищення та осушування. Хлорангідриди відповідних карбонових кислот **6a-f** та сульфонілхлориди **5a-e** одержували за стандартними методиками [12].

Спектри ЯМР  $^1\text{H}$  розчинів речовин у  $\text{DMCO-d}_6$  зареєстровані на приладі «Varian VXR-300», робоча частота — 300 МГц, внутрішній стандарт — ТМС.

*Метод одержання 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону 3.* Розчин 1,98 г (0,01 моль) нафталенового ангідриду і 1,368 г (0,012 моль) 4-(амінометил)піперидину в 20 мл диметилсульфоксиду кип'ятили протягом 2 год. Охолоджували, додавали 100 мл води. Осад, що випав, відфільтровували, сушили і перекристалізували із суміші етанол – вода (1:1). Вихід 87%, т. пл. 151—153° С. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\delta$ , м. д.,  $J$ , Гц): 1,17 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 1,52 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 1,86 (1H, м,  $\text{CH}_2\text{CH}$ ), 2,35 (2H, т,  $J=11,0$ ,  $\text{CH}_2\text{CH}$ ), 2,91 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 3,94 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 7,86 (2H, м,  $\text{H}_{\text{нафтал}}$ ), 8,46 (4H, м,  $\text{H}_{\text{нафтал}}$ ). Знайдено, %: С 73,26; Н 5,94; N 9,23.  $\text{C}_{18}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_2$ . Обчислено, %: С 73,45; Н 6,16; N 9,52.

*Загальний метод синтезу 2-(N-R-сульфоніл-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діонів 4a-e.*

До розчину 0,005 моль нафталіміду **3** і 0,006 моль триетиламіну в 3 мл піридину додавали 3 мл розчину 0,005 моль сульфонілхлоридів **5a-e** (або хлорангідридів **6a-f**) в бензені. Кип'ятили протягом 30 хв, охолоджували, додавали 20 мл води. Осад, що випав, відфільтровували, сушили і перекристалізували з нітрометану.

2-(N-Фенілсульфоніл-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de] ізохінолін-1,3-діон **4a**. Вихід 81%, т. пл. 215–217°С. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\delta$ , м. д.,  $J$ , Гц): 1,29 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 1,69 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 1,77 (1H, м,  $\text{CH}_2\text{CH}$ ), 2,21 (2H, т,  $J=11,1$ ,  $\text{CH}_2\text{CH}$ ), 3,61 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 3,92 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ), 7,60—7,69 (5H, м, Ph), 7,85 (2H, м,  $\text{H}_{\text{нафтал}}$ ), 8,46 (4H, м,  $\text{H}_{\text{нафтал}}$ ). Знайдено, %: С 66,29; Н 5,27; N 6,33; S 7,08.  $\text{C}_{24}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$ . Обчислено, %: С 66,34; Н 5,10; N 6,45; S 7,38.

2-(N-Фенілетенілсульфоніл-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **4b**. Вихід 70%, т. пл. 137–139°С. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\delta$ , м. д.,

*J*, Гц): 1,34 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,74 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,91 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,63 (2H, т, *J* = 10,5, CH<sub>2</sub>CH), 3,57 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 3,98 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 7,25 (1H, д, *J* = 14,2, CH=), 7,36-7,44 (4H, м, Ph, CH=), 7,74 (2H, м, Ph), 7,86 (2H, H<sub>нафтал</sub>), 8,45 (4H, м, H<sub>нафтал</sub>). Знайдено, %: С 67,58; Н 5,22; N 5,83; S 7,21. C<sub>26</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>S. Обчислено, %: С 67,81; Н 5,25; N 6,08; S 6,96.

2-(N-[4'-Фторфенілсульфоніл]-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діон **4c**. Вихід 73%, т. пл. 164-166°C. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (δ, м. д., *J*, Гц): 1,29 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,71 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,82 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,22 (2H, т, *J* = 10,8, CH<sub>2</sub>CH), 3,59 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 3,93 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 7,45 (2H, м, *n*-FC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>), 7,75-7,89 (4H, *n*-FC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>нафтал</sub>), 8,45 (4H, м, H<sub>нафтал</sub>). Знайдено, %: С 63,65; Н 4,84; N 6,13; S 6,85. C<sub>24</sub>H<sub>21</sub>FN<sub>2</sub>O<sub>4</sub>S. Обчислено, %: С 63,71; Н 4,68; N 6,19; S 7,09.

2-(N-[2'-Тієнілсульфоніл]-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діон **4d**. Вихід 77%, т. пл. 217-220°C. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (δ, м. д., *J*, Гц): 1,34 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,75 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,82 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,29 (2H, т, *J* = 10,8, CH<sub>2</sub>CH), 3,60 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 3,94 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 7,25 (1H, дд, *J*<sub>1</sub> = 4,1, *J*<sub>2</sub> = 0,9, H<sub>тіофен</sub>), 7,59 (1H, дд, *J*<sub>1</sub> = 3,9, *J*<sub>2</sub> = 1,4, H<sub>тіофен</sub>), 7,86 (2H, H<sub>нафтал</sub>), 8,05 (1H, дд, *J*<sub>1</sub> = 5,1, *J*<sub>2</sub> = 1,2, H<sub>тіофен</sub>), 8,45 (4H, м, H<sub>нафтал</sub>). Знайдено, %: С 60,02; Н 4,82; N 6,25; S 14,63. C<sub>22</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>S<sub>2</sub>. Обчислено, %: С 59,98; Н 4,58; N 6,36; S 14,56.

2-(N-[8'-Хінолінілсульфоніл]-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діон **4e**. Вихід 68%, т. пл. 204-206 °C. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (δ, м. д., *J*, Гц): 1,23 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,66 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,85 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,71 (2H, т, *J* = 11,5, CH<sub>2</sub>CH), 3,91 (4H, м, 2CH<sub>2</sub>), 7,66 (1H, м, H<sub>хінолін</sub>), 7,74 (1H, м, H<sub>хінолін</sub>), 7,85 (2H, м, H<sub>нафтал</sub>), 8,26 (1H, м, H<sub>хінолін</sub>), 8,34 (1H, м, H<sub>хінолін</sub>), 8,43-8,50 (5H, м, H<sub>хінолін</sub>, H<sub>нафтал</sub>), 9,03 (1H, м, H<sub>хінолін</sub>). Знайдено, %: С 66,57; Н 4,92; N 8,79; S 6,43. C<sub>27</sub>H<sub>23</sub>N<sub>3</sub>O<sub>4</sub>S. Обчислено, %: С 66,79; Н 4,77; N 8,65; S 6,60.

2-(N-[3',4'-Метилендіоксифенілкарбоніл]-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діон **7a**. Вихід 79%, т. пл. 116-118°C. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (δ, м. д., *J*, Гц): 1,27 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 1,65 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 2,08 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,83 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 3,99 (2H, д, *J* = 6,9, CH<sub>2</sub>CH), 6,07 (2H, с, OCH<sub>2</sub>O), 6,87 (1H, д, *J* = 8,1, H<sub>піпер</sub>), 6,94-6,97 (2H, м, H<sub>піпер</sub>), 7,87 (2H, H<sub>нафтал</sub>), 8,47 (4H, м, H<sub>нафтал</sub>). Знайдено, %: С 70,63; Н 4,97; N 6,16. C<sub>26</sub>H<sub>22</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Обчислено, %: С 70,58; Н 5,01; N 6,33.

2-(N-[Фенілсульфоніл-(1'-циклопропіл)карбоніл]-4''-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діон **7b**. Вихід 62%, т. пл. 120-123°C. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (δ, м. д., *J*, Гц): 1,16 (1H, м, CH), 1,37 (3H, м, CH<sub>2</sub> + CH), 1,66 (4H, м, 2CH<sub>2</sub>), 2,06 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,93 (1H, м, CH<sub>2</sub>), 4,00 (2H, д, *J* = 6,9, CH<sub>2</sub>CH), 4,19 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 7,64 (2H, м, Ph), 7,77 (3H, м, Ph), 7,88 (2H, H<sub>нафтал</sub>), 8,46 (4H, м, H<sub>нафтал</sub>). Знайдено, %: С 66,63; Н 5,38; N 5,42; S 6,25. C<sub>28</sub>H<sub>26</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>S. Обчислено, %: С 66,92; Н 5,21; N 5,57; S 6,38.

2-(N-[2',4'-Дихлорфеноксиметилкарбоніл]-4''-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діон **7c**. Вихід 73%, т. пл. 163-165°C. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (δ, м. д., *J*, Гц): 1,17 (1H, м, CH), 1,37 (1H, м, CH), 1,69 (2H, м, CH<sub>2</sub>), 2,10 (1H, м, CH<sub>2</sub>CH), 2,57 (1H, м, CH), 2,98 (1H, м, CH), 3,79 (1H, м, CH), 4,00 (2H, д, *J* = 7,2, CH<sub>2</sub>CH), 4,29 (1H, м, CH), 4,97 (2H, м, CH<sub>2</sub>O), 7,03 (1H, д, *J* = 8,7, Ar),

7,32 (1H, дд,  $J_1 = 8,7$ ,  $J_2 = 2,7$ , Ar), 7,53 (1H, д,  $J = 2,7$ , Ar), 7,88 (2H,  $H_{\text{нафтал}}$ ), 8,49 (4H, м,  $H_{\text{нафтал}}$ ). Знайдено, %: С 62,58; Н 4,72; N 5,69; Cl 13,98.  $C_{26}H_{22}Cl_2N_2O_4$ . Обчислено, %: С 62,79; Н 4,46; N 5,63; Cl 14,26.

2-(N-[Фенілетенілкарбоніл]-4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **7d**. Вихід 80%, т. пл. 204-205°C. Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м. д.,  $J$ , Гц): 1,22 (2H, м,  $CH_2$ ), 1,71 (2H, м,  $CH_2$ ), 2,13 (1H, м,  $CH_2CH$ ), 2,63 (1H, м, CH), 3,04 (1H, м, CH), 4,00 (2H, д,  $J = 8,7$ ,  $CH_2CH$ ), 4,26 (1H, м, CH), 4,44 (1H, м, CH), 7,25 (1H, д,  $J = 15,6$ ,  $PhCH=CH$ ), 7,38 (3H, м, Ph), 7,47 (1H, д,  $J = 15,6$ ,  $PhCH=CH$ ), 7,87 (2H,  $H_{\text{нафтал}}$ ), 8,48 (4H, м,  $H_{\text{нафтал}}$ ). Знайдено, %: С 76,28; Н 5,92; N 6,45.  $C_{27}H_{24}N_2O_3$ . Обчислено, %: С 76,40; Н 5,70; N 6,60.

2-(N-[3',4'-Диметоксифенілетенілкарбоніл]-4"-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **7e**. Вихід 69%, т. пл. 135-137°C. Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м. д.,  $J$ , Гц): 1,21 (2H, м,  $CH_2$ ), 1,72 (2H, м,  $CH_2$ ), 2,12 (1H, м,  $CH_2CH$ ), 2,62 (1H, м, CH), 3,03 (1H, м, CH), 4,00 (2H, д,  $J = 6,6$ ,  $CH_2CH$ ), 3,79 (3H, с,  $CH_3O$ ), 3,82 (3H, с,  $CH_3O$ ), 4,31 (1H, м, CH), 4,45 (1H, м, CH), 6,94 (1H, д,  $J = 8,5$ ,  $H_{\text{аром}}$ ), 7,13 (1H, д,  $J = 15,3$ ,  $ArCH=CH$ ), 7,18 (1H, д,  $J = 8,5$ ,  $H_{\text{аром}}$ ), 7,35 (1H, с,  $H_{\text{аром}}$ ), 7,42 (1H, д,  $J = 15,3$ ,  $ArCH=CH$ ), 7,87 (2H,  $H_{\text{нафтал}}$ ), 8,48 (4H, м,  $H_{\text{нафтал}}$ ). Знайдено, %: С 72,16; Н 5,81; N 5,63.  $C_{29}H_{28}N_2O_5$ . Обчислено, %: С 71,89; Н 5,82; N 5,78.

2-(N-[2'-Фуранілетенілкарбоніл]-4"-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **7f**. Вихід 66%, т. пл. 192-194°C. Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м. д.,  $J$ , Гц): 1,12 (2H, м,  $CH_2$ ), 1,71 (2H, м,  $CH_2$ ), 2,11 (1H, м,  $CH_2CH$ ), 2,62 (1H, м, CH), 3,02 (1H, м, CH), 3,99 (2H, д,  $J = 3,9$ ,  $CH_2CH$ ), 4,15 (1H, м, CH), 4,44 (1H, м, CH), 6,61 (1H, м,  $H_{\text{фурил}}$ ), 6,86 (1H, д,  $J = 3,6$ ,  $H_{\text{фурил}}$ ), 6,92 (1H, д,  $J = 15,2$ ,  $PhCH=CH$ ), 7,31 (1H, д,  $J = 15,2$ ,  $PhCH=CH$ ), 7,78 (1H, м,  $H_{\text{фурил}}$ ), 7,88 (2H,  $H_{\text{нафтал}}$ ), 8,48 (4H, м,  $H_{\text{нафтал}}$ ). Знайдено, %: С 72,69; Н 5,24; N 6,53.  $C_{25}H_{22}N_2O_4$ . Обчислено, %: С 72,45; Н 5,35; N 6,76.

## Висновки

Нами вперше синтезовано нову групу сполук — 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон і ряд його N-похідних, знайдено оптимальні умови конденсації 1,8-нафталевого ангідриду з 4-(амінометил)піперидином.

Будову одержаних продуктів підтверджено даними спектроскопії ЯМР $^1H$ , а склад — даними елементного аналізу. Усі синтезовані речовини є новими, невідомими раніше сполуками, перспективними для подальшого дослідження їх біологічної активності та інших корисних властивостей.

## Література

1. Synthesis and spectroscopic properties of 4-amino-1,8-naphthalimide derivatives involving the carboxylic group / L. Bekere, D. Gachet, V. Lokshin et al / Beilstein J. Org. Chem. — 2013. — Vol. 9. — P.1311—1318.
2. Luminescence Properties of 1,8-Naphthalimide Derivatives in Solution, in Their Crystals, and in Co-crystals / B. Ventura, A. Bertocco, D. Braga et al // J. Phys. Chem. C. — 2014. — Vol. 118(32). — P. 18646—18658.

3. Structure Design of Naphthalimide Derivatives: Toward Versatile Photoinitiators for Near-UV/Visible LEDs, 3D Printing, and Water-Soluble Photoinitiating Systems / J. Zhang, F. Dumur, P. Xiao, et al // *Macromolecules*. — 2015. — Vol. 48(7). — P. 2054—2063.

4. Novel fluorescent 1,8-naphthalimide derivatives containing thiophene and pyrazole moieties: synthesis by direct C-H arylation and evaluation of photophysical and electrochemical properties / Z. Jin, J. Wu, C. Wang et al // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. — 2014. — Vol. 117. — P. 527—34.

5. *Konstantinova T.M.* Synthesis and properties of some fluorescent 1,8-naphthalimide derivatives and their copolymers with methyl methacrylate / T.M. Konstantinova, P.M. Miladinova // *J. Applied Polymer Science*. — 2009. — Vol. 111(4). — P. 1991—1998.

6. Патент US 5552544 A 5-nitrobenzo[de]isoquinoline-1,3-diones their preparation and their use / Miguel F. Bra na, Jos e M. Castellano Berlanga, Marina Moran Moset, Erich Schlick, Gerhard Keilhauer; заявник Knoll Ag. — US 07/533,944; заявл. 04.06.1990; опубл. 03.09.1996.

7. Синтез та дослідження антидотної та гербіцидної активності нових 2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін -1,3-діонів / В.М. Брицун, В.В. Шварцау, В.С. Петренко та ін. // *Журнал органічної та фармацевтичної хімії*. — 2004. — Т. 2, Вип. 3(7). — С. 21—25.

8. 1,8-Naphthalimide derivatives: new leads against dynamin I GTPase activity / M.K. Abdel-Hamid, K.A. Macgregor, L.R. Odell et al // *Org. Biomol. Chem*. — 2015. — Vol. 13. — P. 8016—8028.

9. A series of naphthalimide derivatives as intra and extracellular pH sensors / Y. Tian, F. Su, W. Weber et al // *Biomaterials*. — 2010. — Vol. 31(29). — P. 7411—7422.

10. 1,8-Naphthalimide Derivative Dyes with Large Stokes Shifts for Targeting Live-Cell Mitochondria / L. Zhang, F. Su, X. Kong, et al // *ChemBiochem*. — 2016. — Vol. 17(18). — P. 1719—24.

11. *Gellerman G.* Recent Developments in the Synthesis and Applications of Anticancer Amonafide Derivatives / G. Gellerman // *A Mini Review Letters in Drug Design & Discovery*. — 2016. — Vol. 13(1). — P. 47—63.

12. *Титце Л.* Препаративная органическая химия. Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории / Л. Титце, Т. Айхер. — М. : Мир, 1999. — 704 с.



**Зміст журналу**  
**«Наукові праці Національного університету харчових технологій»**  
**за 2017 рік**

**Автоматизація та інформаційні технології**

- Поворознюк Н.І., Бобрівник К.Є., Грибков С.В.* Проектування бази даних модуля студента у системі підтримки вивчення дисциплін № 1
- Полупан В.В., Сідлецький В.М.* Структура автоматизованої системи розширеного керування для координації суміжних станцій цукрового заводу № 1
- Пупена О.М., Ельперін І.В., Міркевич Р.М.* Сучасні стандарти інтегрованого керування і шляхи їх впровадження в Україні № 1
- Сідлецький В.М., Ельперін І.В.* Тензорний аналіз в автоматизованій системі управління процесом пастеризації молока № 2
- Горлова Т.М.* Прийняття управлінських рішень у корпоративних системах № 2
- Козирський В.В., Момотюк В.В., Заєць Н.А.* Обґрунтування створення нейронної мережі оцінки витрат виробничих енергетичних ресурсів хлібокомбінату № 3
- Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Кишенько В.Д., Смітюх Я.В., Шумигай Д.А.* Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 1. Загальні положення № 4
- Джуренко Т.С., М'якишило О.М., Романенко В.М.* Система спеціалізованого пошуку і відбору маркетингових даних з мережі Інтернет № 4
- Самсонов В.В., Сільвестров А.М., Скринник О.М.* Оптимізація процесу лабораторних досліджень на основі системного підходу № 4
- Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Кишенько В.Д., Смітюх Я.В., Шумигай Д.А.* Комплексування методів теорії керування в системах автоматизації технологічних об'єктів. Частина 2. Приклади № 6
- Лисенко В.П., Заєць Н.А., Опришко О.О., Комарчук Д.С.* Статистичний аналіз оптичних образів об'єктів рослинних насаджень № 6
- Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Сич М.А.* Моделювання оптимального автоматичного керування процесом біологічної очистки забруднених вод регуляторами дробового порядку № 6

**Безпека харчових продуктів і охорона праці**

- Володченкова Н.В., Накемпій О.К.* Дослідження стану повітря робочої зони кондитерів № 6

**Біотехнологія і мікробіологія**

- Скроцька О.І., Харченко Є.В.* Рекомбінантні організми як перспективні продуценти фактора некрозу пухлин № 1
- Шкут О.О., Карпов О.В.* Можливості використання сідерофорів № 1
- Пирог Т.П., Никитюк Л.В.* Синергічна дія поверхнево активних речовин *Nocardia vaccinii* IMB В-7405 і антифунгальних засобів № 1
- Лич І.В., Дорошко Ю.М., Бородіна О.О., Шульженко В.С.* Біоінженерні аспекти створення каталітичних антибіотиків № 1
- Пирог Т.П., Никитюк Л.В., Кондрашевська К.Р., Ключка І.В.* Вплив поверхнево активних речовин, синтезованих у різних умовах культивування *Nocardia vaccinii* IMB В-7405, на деструкцію біоплівки *Escherichia coli* IEM-1 № 2
- Салюк А.І., Котинський А.В., Жадан С.О., Шаповалов Є.Б.* Режимы метано-вої ферментації курячого посліду № 2

<i>Макаренко Є.В., Покойовець К.Ю., Грегірчак Н.М.</i> Дослідження антагоністичних властивостей хліба з функціональними харчовими добавками	№ 2
<i>Пирог Т.П., Антонюк С.Б., Никитюк Л.В.</i> Роль поверхнево активних речовин, синтезованих у різних умовах культивування <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMB B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMB Ac-5017 і <i>Nocardia vacciniі</i> IMB B-7405 у деструкції нафтових забруднень	№ 4
<i>Пирог Т., Гаврилкіна Д., Леонова Н., Шевчук Т.</i> Вплив умов культивування продуцентів поверхнево-активних речовин <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMB B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMB Ac-5017 і <i>Nocardia vacciniі</i> IMB B-7405 на синтез фітогормонів	№ 5, Ч. 1
<i>Швець В.В., Карпенко О.В., Новіков В.П., Лубенець В.І.</i> Вплив композицій поверхнево-активного рамноліпідного біокомплексу і тіосульфонатів на ростові показники пшениці озимої у модельних умовах посухи	№ 5, Ч. 1
<i>Асаулюк Т.С., Семешко О.Я., Сарібєкова Ю.Г.</i> Створення екологічно чистих полімерних покриттів для текстильних пакувальних матеріалів	№ 5, Ч. 1
<i>Черно Н.К., Гураль Л.С., Антіпіна О.О.</i> Отримання арабіногалактану з вітчизняної сировини та його характеристика	№ 5, Ч. 1
<i>Данилкович А.Г., Ліщук В.І.</i> Розробка маловідходних енергоощадних біотехнологій виробництва еластичних шкіряних матеріалів	№ 5, Ч. 1
<i>Пирог Т.П., Никитюк Л.В., Сидор І., Палійчук О.І., Петренко Н.В.</i> Антимікробна активність поверхнево-активних речовин, синтезованих <i>A. calcoaceticus</i> IMB B-7241, <i>R. erythropolis</i> IMB Ac-5017 і <i>N. Vacciniі</i> IMB B-7405 на промислових відходах	№ 5, Ч. 2
<i>Харченко Є.В., Скромцька О.І., Пенчук Ю.М., Боднар О.В.</i> Препарати фактора некрозу пухлин: характеристика, способи отримання та модифікації	№ 6

### **Економіка і соціальний розвиток**

<i>Страшинська Л.В., Ніколаєнко І.В.</i> Маркетингові аспекти розвитку ринку снєків в Україні	№ 1
<i>Еш С.М., Головіна В.В.</i> Сучасні зміни у сфері місцевих фінансів	№ 1
<i>Пенчук Г.С.</i> Світовий досвід державного регулювання агропромислових підприємств	№ 2
<i>Сокол Т.Г.</i> До питання про фахову підготовку екскурсійно-анімаційних кадрів у туризмі	№ 2
<i>Пилипенко О.Є.</i> Розвиток харчової промисловості України	№ 3
<i>Зарецька Л.М., Кулініч О.А.</i> Трансформація економічних систем: теоретичний аспект	№ 3
<i>Керанчук Т.Л.</i> Сучасні напрямки розвитку молочної галузі в Україні	№ 3
<i>Гаркавко В.К., Бикова В.О., Запорожан Ю.Л., Мазурова К.В.</i> Д.І. Менделєєв: хімік-природодослідник, промисловець-господарник, мислитель і економіст, науковець і людина	№ 3
<i>Міненко М.А.</i> Регулювання господарської діяльності галузей національної економіки	№ 3
<i>Драган О.І.</i> Удосконалення управління вищим навчальним закладом в умовах зростання конкуренції на ринку освітніх послуг	№ 3
<i>Барсук Ю.В.</i> Соціально-економічні аспекти трансформаційного процесу аграрного сектору України	№ 4
<i>Драган О.І., Бергер А.Д.</i> Прикладні аспекти удосконалення нормування праці на підприємствах м'ясопереробної галузі	№ 4
<i>Арич М.І., Шірінян Л.В.</i> Дослідження конкурентоспроможності страхового ринку України: географічний аналіз	№ 5, Ч. 2

- Міненко М.А.* Невизначеність інституційного середовища для сталого розвитку переробної промисловості України № 6
- Березянюк Т.В.* Соціально-трудові практики підприємств харчової промисловості № 6

### **Менеджмент і стратегічне управління**

- Сологуб О.П., Никоненко А.В.* Матриця Бостонської консалтингової групи як інструмент аналізу ринку праці № 1
- Грищенко Д.Г., Дворак Ю.С.* Мотивація персоналу як основний інструмент досягнення цілей організації № 1
- Москаленко В.О., Дробот Ю.Ю.* Управління кадровими ризиками як напрям удосконалення механізму управління персоналом № 2
- Казаків О.О., Казакова В.І.* Екаунтінг-менеджмент у системі менеджменту підприємства № 2
- Кравець С.В.* Сутність та особливості управління маркетинговими ризиками підприємств № 2
- Кондратюк С.Ю., Дунда С.П.* Формування механізму стратегічного розвитку підприємства № 2
- Мазник Л.В., Мазник К.С.* Використання результатів рейтингової оцінки характеристик індивідуальної пропозиції робочої сили в навчальному процесі № 2
- Страшинський В.І.* Пристосування торговельних мереж до зміни поведінки споживачів харчової продукції в Україні № 3
- Пенчук Г.С.* Теоретичні аспекти формування маркетингової стратегії у збутовій діяльності агропромислових підприємств № 3
- Мазник Л.В.* Використання методик інтегрального оцінювання в сфері управління персоналом № 3
- Кузьмін О.В., Попович К.В., Вознюк О.В., Лінчевська А.А.* Розробка елементів системи управління якістю служби Housekeeping у готельному господарстві № 4
- Жужукіна Н.І.* Мотивація і стимулювання в умовах креативного менеджменту № 4
- Арич М.І.* Характеристика оптимізації антикризового управління страховими компаніями як елемент підвищення їх конкурентоспроможності № 4
- Кундєєва Г.О., Куліш О.А.* Маркетингова стратегія розвитку зернового комплексу аграрного сектору України № 4

### **Науки про життя**

- Сімахіна Г.О., Науменко Н.В.* Лікарські трави як важлива складова аюрведичної та вітчизняної систем оздоровлення № 1

### **Процеси і апарати харчових виробництв**

- Шевченко О.Ю., Ткачук Н.А., Стадник І.Я., Деркач А.В.* Реологічний підхід до валкового нагнітання середовища № 1
- Погорілий Т.М.* Регресійні рівняння для визначення об'ємної теплоємності  $c_p$  міжкристального розчину сахарози при уварюванні цукрового утфелю № 1
- Копиленко А.В., Кутовий М.Г., Поводзинський В.М., Шибецький В.Ю.* Класифікація та аналіз роботи промислових ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою № 1
- Булій Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М., Кириленко Р.Г.* Інноваційна технологія ректифікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини № 1
- Якобчук Р.Л., Яровий В.Л.* Інертний носій для сушіння харчових продуктів на його поверхні у віброкиплячому шарі № 1
- Погорілий Т.М.* Регресійні рівняння для визначення теплопровідності  $\lambda$  міжкристального розчину сахарози при уварюванні цукрового утфелю № 2

<i>Копиленко А.В., Семенюк С.М., Шибецький В.Ю., Костик С.І.</i> Сучасна концепція моделювання гідродинаміки в ролерному біореакторі з поверхневим культивуванням клітинних культур	№ 2
<i>Змієвський Ю.Г.</i> Дослідження процесу нанофільтрації молочної сироватки	№ 2
<i>Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Васильківський К.В., Вінніченко І.М.</i> Колігативні властивості культуральних середовищ	№ 2
<i>Копиленко А.В., Поводзинський В.М., Костик С.І., Ревтов О.О.</i> Моделювання гідродинаміки пневматичного перемішувального пристрою для культивування аеробних мікроорганізмів	№ 3
<i>Соколенко А.І., Піддубний В.А., Коваль О.В.</i> Особливості трансформацій енергоматеріальних потоків у замкнених циркуляційних контурах	№ 3
<i>Шевченко О.Ю., Вінніченко І.М., Степанець О.І., Бойко О.О.</i> Особливості трансформацій матеріальних і енергетичних потоків у бродильних середовищах	№ 3
<i>Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Васильківський К.В., Бут С.А.</i> Енергоматеріальні трансформації в бродильних технологіях	№ 4
<i>Лементар С.Ю., Пономаренко В.В., Вересоцький Ю.І., Якобчук Р.Л.</i> Моделювання процесу розпилення молока дисками з різними конструкціями сопел	№ 4
<i>Долінський А.А., Авдєєва Л.Ю., Жукотський Л.Ю., Макаренко А.А.</i> Особливості впливу конструкції кавітаційних змішувачів на властивості отриманих дисперсних систем	№ 4
<i>Потапов В.О., Якушенко Є.М.</i> Теорія і техніка сушіння термолабільної сировини в установках змішаного енергопідводу	№ 5, Ч. 1
<i>Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Костюк В.С.</i> Генерування енергетичних імпульсів у середовищах бродильних апаратів	№ 5, Ч. 1
<i>Деркач А.В., Лісовська Т.О., Стадник І.Я.</i> Обґрунтування оптимальних параметрів валків для розкачування тіста	№ 5, Ч. 1
<i>Бабанов І.Г., Потапов В.О., Прасол С.В., Шевченко А.О.</i> Модель кінетики тепломасопереносу в процесі НВЧ-обробки харчової сировини	№ 5, Ч. 1
<i>Мисюра Т.Г., Зав'ялов В.Л., Лобок О.П., Попова Н.В., Запорожець Ю.В.</i> Математичний опис структури гідродинамічних потоків при віброекстрагуванні на основі комірчастої моделі	№ 5, Ч. 1
<i>Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Деренівська А.В.</i> Багатокритеріальний структурно-параметричний синтез функціональних модулів потоково-технологічних пакувальних систем	№ 5, Ч. 1
<i>Степанець О.І., Пригодій Д.В., Ткачук Н.А.</i> Динаміка і енергетична рекуперация в технологічних машинах	№ 5, Ч. 2
<i>Маяк О.А., Сардаров А.М.</i> Дослідження впливу режимів сушіння вібраційної вакуумної сушарки на колориметричні показники рослинної сировини	№ 5, Ч. 2
<i>Бабанов І.Г., Бабанова О.І., Беседа С.Д., Шевченко А.О.</i> Дослідження з метою вдосконалення камери для теплового оброблення ковбасних виробів	№ 5, Ч. 2
<i>Якимчук М.В., Гавва О.М.</i> Методологічні засади створення функціональних кластерів мехатронних модулів пакувального обладнання	№ 5, Ч. 2
<i>Українець А.І., Шиян П.Л., Булій Ю.В., Куц А.М.</i> Інноваційна технологія ректифікації в режимі роздільного руху фаз	№ 5, Ч. 2
<i>Сукманов В.О., Зав'ялов В.Л., Маринін А.І.</i> Дослідження процесу екстрагування виннокислих сполук із виноградних вичавок субкритичною водою	№ 5, Ч. 2
<i>Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Степанець О.І., Бойко О.О., Вінніченко І.М.</i> Динаміка перехідних процесів у системах анаеробного бродіння	№ 6

- Хитрий Я.С., Пономаренко В.В.* Дослідження ежекторів з компактним і диспергованим струменем рідини для сульфитаторів у цукровій промисловості № 6
- Ступак Ю.О., Васильківський К.В.* Інтенсивні технології енерго- і масообміну при стерилізації харчової продукції № 6
- Мірошник В.О., Кіктев М.О.* Дослідження впливу характеристик зволоженого корму на параметри передатної функції об'єкта керування № 6

### **Тепло- і енергопостачання**

- Бржезицький В.О., Десятов О.М., Маслюченко І.М., Яценко І.С.* Частотні характеристики, обумовлені неідентичністю R-, C-елементів високовольтного подільника напруги, призначеного для вимірювання показників якості електроенергії № 1
- Балюта С.М., Йовбак В.Д., Копилова Л.О., Корольов Є.О.* Система керування напругою з нечіткими регуляторами в системі електропостачання промислового підприємства № 1
- Романенко В.М.* Методи розв'язків задач теплопровідності за допомогою переходу до відповідних різницевих рівнянь на півосі № 1
- Павелко В.І., Глиняний С.І.* Підвищення енергоефективності парогенераторів малої і середньої потужності в котельних установках м'ясопереробних підприємств № 1
- Шестеренко В.Є., Изволенський І.Є.* Підвищення ефективності компенсації реактивної потужності в системах електропостачання № 2
- Дудко С.Д.* Деякі результати моделювання роботи нагрівної системи тунельної хлібопекарської печі № 2
- Дудко С.Д.* Феномен самочинного відтворення теплового режиму випікання у хлібопекарській печі з циклотермічною нагрівальною системою № 3
- Балюта С.М., Йовбак В.Д., Копилова Л.О., Литвин І.Ю.* Математична модель електроспоживачів для керування напругою цехового трансформатора № 3
- Шутюк В.В., Василенко С.М., Бут С.А.* Аналіз теплопередачі під час сушіння бурякового жому перегрітою парою № 3
- Бржезицький В.О., Лапоша М.Ю., Маслюченко І.М.* Компенсований високовольтний височастотний реактор № 4
- Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.* Модернізація експериментального стенду для дослідження процесу сушіння одиничних крапель рідинних систем № 4
- Шестеренко В.Є., Изволенський І.Є.* Оптимізація системи компенсації реактивної потужності цукрового заводу № 5, Ч. 2
- Балюта С.М., Копилова Л.О., Литвин І.Ю.* Системний аналіз і підходи до побудови автоматизованої системи керування електроспоживанням та електропостачанням промислового підприємства № 5, Ч. 2
- Бржезицький В.О., Лапоша М.Ю., Маслюченко І.М., Хомініч В.І.* Удосконалення високовольтних лінійних скляних ізоляторів № 6

### **Фізико-математичні науки**

- Король А.М., Літвінчук С.І., Гуцало І.В., Вишняк В.В.* Тунельна прозорість графенової симетричної двобар'єрної структури з бар'єрами швидкості Фермі № 6

### **Харчові технології**

- Гусятинська Н.А., Нечипор Т.М., Тетеріна С.М.* Дослідження ефективності застосування природного антимікробного засобу «Бетастаб» при переробленні цукрових буряків № 1

- Омельченко Х.В., Полумбрик М.О., Пасічний В.М., Полумбрик О.М.* Комплекс йоду з  $\beta$ -циклодекстрином як функціональна добавка у технології варених ковбасних виробів № 1
- Сильчук Т.А., Дробот В.І.* Дослідження біотехнологічних властивостей тістових напівфабрикатів № 1
- Кошова В.М., Мукоїд Р.М., Коберницька А.О.* Вплив температури води на тривалість замочування гречки № 1
- Янчик М.В., Неміріч О.В., Гавриш А.В., Янчик О.П.* Якість кондитерських напівфабрикатів з рослинними порошками впродовж зберігання № 1
- Любцова Ю.Л., Попова Н.В., Мисюра Т.Г.* Визначення оптимального складу суміші зелених соусів за вмістом вітаміну С № 1
- Марченко Т.С., Поліщук Г.С.* Наукове обґрунтування доцільності використання крохмальної патоки у складі йогуртів № 1
- Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В.* Структурні і біохімічні зміни білкових сполук при заморожуванні дикорослих ягід № 2
- Зінченко І.М., Терлецька В.А.* Зміни білкових речовин грибів у процесі гідротермічного оброблення в технології грибних снєків № 2
- Карпова А.О., Куниця К.В., Білецький Е.В.* Технологія борошняних кондитерських виробів з використанням нових рецептурних компонентів № 2
- Гніцевич В.А., Дейниченко Л.Г., Горальчук А.Б.* Реологічні властивості молочно-білкових концентратів № 2
- Кузьмін О.В., Комарницький Р.В., Губеня В.О., Дочинець І.В.* Розробка методу комплексної кількісної оцінки якості бісквітних напівфабрикатів № 2
- Головко М.П., Пенкіна Н.М., Колесник В.В., Полупан В.В.* Використання методу апріорного ранжування чинників під час створення рецептур алкогольних напоїв № 2
- Махинько В.М., Дробот В.І., Соколовська І.О., Черниш Л.М.* Формула еталонного білка: етапи розроблення і сучасні норми № 2
- Жулінська О.В., Свідло К.В., Половін Б.А.* Визначення нормативних параметрів якості і безпечності функціональних харчових продуктів № 2
- Українець А.І., Пасічний В.М., Мороз О.О., Неводюк І.В.* Використання білкових наповнювачів у виробництві напівкопчених ковбас № 2
- Булій Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М., Дмитрук А.П.* Підвищення експлуатаційних характеристик брагоректифікаційних установок шляхом використання технології керованої ректифікації № 2
- Михонік Л.А., Грищенко А.М.* Використання рисового борошна в технології безглютенового хліба № 2
- Ковбаса В.М., Коваленко О.А.* Дослідження якості картопляних чипсів під час зберігання № 3
- Корольок Т.А., Носенко Т.Т., Усатюк С.І., Костінова Т.А.* Використання газорідної хроматографії для ідентифікації і виявлення фальсифікації олії волоського горіха № 3
- Фролова Н.Е., Українець А.І., Силка І.М.* Узагальнення практичних розробок ідентифікації компонентів джерел аромату № 3
- Тищенко В.І., Божко Н.В., Пасічний В.М.* Розробка рецептури полікомпонентних м'ясних хлібів на основі фаршу прісноводної риби № 3
- Сімахіна Г.О., Халапсіна С.В.* Ефективність використання кріопротекторів при заморожуванні дикорослих і культивованих ягід № 3
- Мельник Л.М., Матко С.В.* Дослідження способів оброблення сировини при виробництві цукатів з картоплі № 3

- Осейко М.І., Романовська Т.І., Шевчик В.І.* Функціональний продукт у концепції ендоекології здоров'я № 3
- Ткаченко В.В., Попова Н.В., Мисюра Т.Г.* Дослідження компонентного складу начинки збагаченого сирка в білковій глазури № 3
- Осьмак Т.Г., Федонюк М.А.* Дослідження пінних характеристик молочних коктейлів з композицією натуральних стабілізаторів № 3
- Дорохович В.В., Абрамова А.Г.* Розроблення бісквітів дієтичного призначення на основі цукрозамінників нового покоління № 3
- Бондаренко Ю.В., Дробот В.І., Білик О.А., Білас Я.І.* Використання урбечу з насіння льону у виробництві пшеничного хліба № 3
- Грегірчак Н.М., Українець О.О., Звягінцева-Семенець Ю.П., Кобилінська О.В., Камбулова Ю.В.* Мікробіологічний аналіз вершкових кремів пониженої жирності № 3
- Кошова В.М., Мисюра Т.Г., Попова Н.В.* Вплив ферментних препаратів на колоїдну стійкість пива № 4
- Ситнік Н.С., Демидов І.М., Мазаєва В.С., Голодняк В.О.* Хроматографічне визначення триацилгліцерольного складу переетерифікованих рідких рослинних олій № 4
- Дубініна А.А., Щербакова Т.В., Хацкевич Ю.М., Ленерт С.О., Борисова А.А.* Способи стабілізації кольору рослинної сировини під час її переробки № 4
- Дорохович А.М., Петренко М.М.* Використання модифікованого крохмалю та ізоляту молочного білка в технології затяжного печива спеціального призначення № 4
- Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А., Дмитруха Н.М., Лагутіна О.С.* Оцінювання цитотоксичної активності молочної сироватки, збагаченої частинками магнію і мангану № 4
- Юценко Н.М., Грабова Т.Л., Кузьмик У.Г., Пасічний В.М.* Визначення технологічних параметрів отримання екстракту сумаху для подальшого використання у технології кисломолочних паст № 4
- Шідакова-Каменюка О.Г., Новік Г.В., Олійник С.Г., Запаренко Г.В.* Вплив продуктів переробки горіхової сировини на технологічні властивості борошна пшеничного № 4
- Устименко І.М., Поліщук Г.Є.* Обґрунтування режимів гомогенізації емульсій та їх вмісту у складі продукту білково-жирового зернистого № 4
- Дорохович В.В.* Інноваційні технології борошняних кондитерських виробів зі зниженою калорійністю № 4
- Дітріх І.В., Буй Л.М., Ганжа А.А.* Способи удосконалення харчування вегетаріанців на основі заміни продуктів тваринного походження насінням ча № 4
- Лисий О.В., Грабовська О.В.* Натуральна основа для киселю швидкого приготування № 4
- Грегірчак Н.М., Пешук Л.В., Зусько К.В., Іванова Т.М., Заболотня О.О.* Дослідження сосисок з включенням кверцетину і нативної кверцетинвмісної сировини подовженого терміну зберігання № 4
- Худік Л.М., Мельник О.В.* Динаміка компонентів хімічного складу яблук, оброблених після збирання 1-метилциклопропенем № 4
- Москалюк О.Є., Гащук О.І.* Розроблення паштетів з використанням фітокомплексу злакових культур «Choice» № 4
- Гуць В.С., Сімахіна Г.О., Солодко Л.М.* Вдосконалення теорії моделювання амінокислотного складу напівфабрикатів із зеленої маси рослин № 4

<i>Юкало В.Г., Сторож Л.А.</i> Отримання біоактивних казеїнових фосфопептидів з використанням різних розчинників	№ 5, Ч. 1
<i>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.</i> Розробка науково обґрунтованих технологій продукції підвищеної харчової цінності з використанням структуроутворювачів різного походження	№ 5, Ч. 1
<i>Захаров В.В., Змієвський Ю.Г., Білецька І.М., Мирончук В.Г.</i> Озонування рідин молочної промисловості	№ 5, Ч. 1
<i>Черевко О.І., Дубініна А.А., Михайлов В.М., Щербакова Т.В., Ленерт С.О.</i> Визначення впливу внутрішніх і зовнішніх чинників на формування кольору фруктів за допомогою кольорових характеристик	№ 5, Ч. 1
<i>Головко М.П., Головко Т.М., Геліх А.О.</i> Дослідження структурних і біохімічних змін при заморожуванні та зберіганні напівфабрикату з моллюсків прісноводних	№ 5, Ч. 1
<i>Пасічний В.М., Полумбрик М.О., Полумбрик М.М., Литвяк В.В., Вишневецький О.</i> Дослідження морфології поверхні і текстури фаршу варених ковбас	№ 5, Ч. 1
<i>Василенко З.В., Никулин В.И., Лазовикова Л.В.</i> Влияние параметров гидролиза протопектина гранулированных выжимок яблок на выход и показатели качества получаемого пектина	№ 5, Ч. 1
<i>Сухенко В.Ю., Сухенко Ю.Г., Муштрук М.М., Васылив В.П., Бойко Ю.И.</i> Качество фаршей колбасных изделий и его изменение в процессе измельчения	№ 5, Ч. 1
<i>Кочубей-Литвиненко О.В., Чернюшок О.А.</i> Нові підходи до мікроелементного збагачення сухих концентратів із молочної сироватки	№ 5, Ч. 1
<i>Українець А.І., Большак Ю.В., Маринін А.І.</i> Застосування безреагентно модифікованої води для підвищення ефективності харчового виробництва і поліпшення якості продукції	№ 5, Ч. 1
<i>Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Гуліч М.П., Асланян С.А., Антюшко Д.П.</i> Науково-практичні підходи до розробки продуктів для нутритивної підтримки поранених, постраждалих і хворих в екстремальних умовах бойових дій та на етапах медичної евакуації	№ 5, Ч. 1
<i>Єгоров Б.В., Жигунов Д.О., Мардар М.Р., Значек Р.Р., Жигунова Г.Д.</i> Технологічні властивості зерна полби та спельти і перспективи їх використання для виробництва харчових продуктів	№ 5, Ч. 1
<i>Іоргачова К.Г., Макарова О.В., Хвостенко К.В., Котузаки О.М.</i> Підвищення та стабілізація якості борошняних кондитерських виробів завдяки використанню різних видів борошна	№ 5, Ч. 1
<i>Носенко Т.Т., Черства А.О., Королюк Т.А.</i> Вплив попередньої ферментативної обробки ріпакової м'ятки на активність ліпази та показники якості олії	№ 5, Ч. 1
<i>Верхівкер Я.Г., Мирошніченко О.М., Альтман Е.І.</i> Методологія розробки сучасної нормативно-технологічної документації для виробництва харчової продукції з урахуванням вимог міжнародних стандартів	№ 5, Ч. 1
<i>Ющенко Н.М., Грабова Т.Л., Кузьмик У.Г., Пасічний В.М.</i> Визначення технологічних параметрів отримання екстракту сумаху для подальшого використання у технології кисломолочних паст	№ 5, Ч. 1
<i>Кузьмик У.Г., Ющенко Н.М., Пасічний В.М., Миколів І.М.</i> Визначення вмісту біологічно активних речовин у розроблених композиціях прянощів	№ 5, Ч. 2
<i>Сімахіна Г.О., Науменко Н.В.</i> Функціональні зміни в організмі людини в екстремальних умовах та їх біокорегування компонентами харчових продуктів	№ 5, Ч. 2



<i>Суходольська Н.П., Іщенко В.М., Кочубей-Литвиненко О.В.</i> Пошуки маркерів детектування фальсифікатів питних видів молока поєднанням аналітичних і хемометричних методів	№ 5, Ч. 2
<i>Лісовська Т.О., Деркач А.В., Стадник І.Я.</i> Вивчення можливості використання екструдованого кукурудзяного борошна в технології борошняних кондитерських виробів оздоровчого призначення	№ 5, Ч. 2
<i>Шульга О.С., Чорна А.І.</i> Декстрини Шардингера як сировина для їстівних плівок і покриттів	№ 5, Ч. 2
<i>Божко Н.В., Тищенко В.І., Пасічний В.М., Мороз О.О.</i> Розробка рецептур варено-копчених ковбас з м'ясом качки мускусної	№ 5, Ч. 2
<i>Пивоваров Є.П., Неклеса О.П., Степанькова Г.В., Коротаєва Є.О., Тютюкова Д.О., Діхтярь А.М., Мряченко Н.В.</i> Наукові основи технологій харчової продукції лікувально-профілактичного призначення, одержаної шляхом акумуляції функціональних інгредієнтів	№ 5, Ч. 2
<i>Гончаренко Т.Ю., Топчій О.А., Кишенько І.І.</i> Дослідження ефективності різних способів підготовки рослинної сировини у рецептурі посічених напівфабрикатів	№ 5, Ч. 2
<i>Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Балабай К.С., Погарський О.С., Стуконоженко Т.А., Какадій Ю.П.</i> Вплив механолізу на активацію важкорозчинних наноконкомплексів гетерополісахаридів при розробці нанотехнологій рослинних добавок	№ 5, Ч. 2
<i>Білько М.В.</i> Обґрунтування методу шампанізації при виробництві сортових ігристих рожевих вин	№ 5, Ч. 2
<i>Притульська Н.В., Карпенко П.О., Кравченко М.Ф., Гніцевич В.А., Федорова Д.В., Юдіна Т.І.</i> Науково-практичні аспекти розроблення харчових продуктів для військовослужбовців	№ 5, Ч. 2
<i>Горгачова К.Г., Лебеденко Т.Є., Кожевнікова В.О., Соколова Н.Ю.</i> Фітоекстракти у вирішенні проблем і завдань хлібопечення	№ 5, Ч. 2
<i>Жиголо Д.О., Соц С.М., Кустов І.О.</i> Особливості використання голозерного вівса та голозерного ячменю при розробці нових високоякісних продуктів харчування на зерновій основі	№ 5, Ч. 2
<i>Махінко В.М.</i> Номограф для визначення добової потреби людини в енергії та білку	№ 5, Ч. 2
<i>Пешиук Л.В., Заболотня О.О., Іванова Т.М.</i> Фізико-хімічні показники м'яса птиці механічного обвалювання, промитого різними органічними кислотами	№ 5, Ч. 2
<i>Фролова Н.Е., Українець А.І., Силка І.М., Науменко К.А., Чепель Н.В.</i> Актуальність і шляхи перероблення вітчизняної ефіроолійної сировини в харчові ароматизатори	№ 5, Ч. 2
<i>Кузьмін О.В., Суйков С.Ю.</i> Встановлення релаксації у водно-спиртових системах у процесі електрохімічної активації питної води	№ 5, Ч. 2
<i>Білик О.А.</i> Розробка комплексних хлібопекарських поліпшувачів для хлібо-булочних виробів подовженого терміну зберігання	№ 5, Ч. 2
<i>Сімахіна Г.О., Халасіна С.В.</i> Оцінка мікробіологічної чистоти заморожених і дефростованих ягід	№ 6
<i>Оболкіна В.І., Носенко Т.Т., Дзигар О.О., Рахметов Д.Б.</i> Вивчення вмісту біологічно активних сполук у листі монарди двійчастої з метою використання пряно-ароматичної фітосировини при створенні крекера з подовженим терміном придатності	№ 6
<i>Бортнічук О.В., Доценко В.Ф., Цирульнікова В.В.</i> Вплив поліпшувачів на біохімічні процеси в тісті з пшеничними висівками і сухою молочною сироваткою	№ 6

- Грек О.В., Онопрійчук О.О., Тимчук А.В., Овсієнко К.В.* Визначення показників якості альбумінної пасти з клітковиною № 6
- Рожно О.В., Юрчак В.Г., Рак В.П.* Дослідження харчової, біологічної цінності та перетравлюваності безглютенових макаронних виробів з кукурудзяного борошна № 6
- Дробот В.І., Михонік Л.А., Грищенко А.М.* Вплив структуроутворювачів на якість безглютенового хліба із суміші рисового та кукурудзяного борошна № 6
- Скочко О.І., Кишенько І.І.* Вивчення криопротекторних властивостей харчових волокон у складі м'ясних фаршевих систем № 6
- Пешук Л.В., Горбач О.Я.* Розробка комплексної білково-мінерально-вуглеводної добавки на основі білків тваринного походження № 6
- Дорохович А.М., Петренко М.М.* Вплив зшитого крохмалю, інуліну та білкових ізолятів на процес термооброблення зтяжного печива спеціального призначення № 6
- Гусятинська Н.А., Нечипор Т.М.* Ефективність сучасних дезінфектантів при переробленні цукрових буряків, уражених бактеріями роду *Leuconostoc* № 6
- Бессараб О.С., Писарев М.Г., Бандуренко Г.М.* Розроблення технології сушеного напівфабрикату з молоді картоплі № 6
- Українець А.І., Булій Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М.* Ресурсо- та енергозберігаюча технологія ректифікованого етилового спирту № 6
- Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Декуша Г.В., Костянець Л.О.* Дослідження динамічної в'язкості водної суспензії плодового тіла гриба шіітаке № 6

#### **Хімічні науки**

- Кроніковський О.І., Котляр К.О., Діденко В.В., Кроніковська О.П.* Розподіл трихлорацетатної кислоти між водою і органічними розчинниками № 3
- Майборода О.І., Сімурова Н.В., Ковальова С.О., Брицун В.М.* Синтез 2-(4'-піперидилметил)-2,3-дигідро-1*H*-бензо[*de*]ізохінолін-1,3-діону та його *N*-похідних № 6

**Contents of the journal  
“Scientific Works of the National University of Food Technologies”  
for 2017**

**Automation and Information Technologies**

- Povoroznyuk N., Bobrivnyk K., Hribkov S.* Designing a database for a student module within the support system of disciplines study # 1
- Polupan V., Sidletskiy V.* Structure of the automated extended control system for coordinating adjacent stations of a sugar factory # 1
- Pupena O., Elperin I., Mirkevych R.* Modern standards of integrated management and ways of their implementation in Ukraine # 1
- Sidletskiy V., Elperin I.* Tensor analysis within the automated system of milk pasteurization control # 2
- Horlova T.* Decision making in corporate systems # 2
- Kozyrskyy V., Momotyuk V., Zaiets N.* Justifying the creation of neural network for evaluating the expenses of bread-baking plant production energy resources # 3
- Ladaniuk A., Lutska N., Kyshenko V., Smitiukh Ya., Shumyhai D.* Complexation of control theory methods in automation systems for technological plants. Part 1. Common terms # 4
- Dzhurenko T., Myakshylo E., Romanenko V.* System of specialized search and selection of marketing data from the Internet # 4
- Samsonov V., Sil'vestrov A., Skrypnyk O.* Optimization of the process of laboratory research on the basis of the system approach # 4
- Ladaniuk A., Lutska N., Kyshenko V., Smitiukh Ya., Shumyhai D.* Complexation of control theory methods in automation systems for technological plants. Part 2. Examples # 6
- Lisenko V., Zaiets N., Oprishko O., Komarchuk D.* Statistical analysis of optical images of vegetable assemblies # 6
- Lobok O., Goncharenko B., Sych M.* Modeling of optimal automatic control of the process of biological clearing of polluted waters by frozen order regulators # 6

**Food Products Safety and Occupational Health**

- Volodchenkova N., Nakempiy L.* Research of safety climate area confectionery # 6

**Biotechnology and Microbiology**

- Skrotska O., Kharchenko E.* Recombinant organisms as prospective producers of tumor necrosis factor # 1
- Shkut O., Karpov O.* Possibilities of application of siderophores # 1
- Pirog T., Nikitiuk L.* Synergistic action of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 surfactants and antifungal agents # 1
- Lych I., Doroshko Yu., Borodina O., Shulzhenko V.* Bioengineering aspects of creating catalytic antibodies # 1
- Pirog T., Nikitiuk L., Kondrashevskaya K., Kluchka I.* Influence of surfactants synthesized under different cultivation conditions of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on *Escherichia coli* IEM-1 biofilm destruction # 2
- Salyuk A., Kotinskiy A., Zhadan S., Shapovalov E.* Modes of methane fermentation of chicken manure # 2
- Makarenko E., Pokoyovets E., Gregirchak N.* Analysis of antagonistic properties of bread with functional food additives # 2
- Pirog T., Antonuk S., Nikitiuk L.* Role of the surfactants synthesized under different cultivation conditions of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, # 4

<i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 in oil pollution destruction	
<i>Pirog T., Gavrylkin D., Leonova N., Shevchuk T.</i> Influence of cultivation conditions of surfactant producers <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> IMV B-7241, <i>Rhodococcus erythropolis</i> IMV Ac-5017 and <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 on synthesis of phytohormones	# 5, P. 1
<i>Shvets V., Karpenko O., Novikov V., Lubenets V.</i> Effect of compositions of surface-active rhamnolipid biocomplex and thiosulfonates on winter wheat growth in model conditions of drought	# 5, P. 1
<i>Asulyuk T., Semeshko O., Saribeykova Yu.</i> Creating environmentally friendly polymer coatings for textile packaging materials	# 5, P. 1
<i>Cherno N., Gural L., Antipina O.</i> Obtaining arabinogalactan from the domestic-produced raw material and its characteristics	# 5, P. 1
<i>Danylkovych A., Lishchuk V.</i> Development of low waste biotechnologies of elastic leather materials production	# 5, P. 1
<i>Pirog T., Nikitiuk L., Sidor I., Paliichuk O., Petrenko N.</i> Antimicrobial activity of surfactants synthesized by <i>A. calcoaceticus</i> IMV B-7241, <i>R. erythropolis</i> IMV Ac-5017 and <i>N. vaccinii</i> IMV B-7405 on industrial waste	# 5, P. 2
<i>Kharchenko E., Skrotska O., Penchuk Yu., Bodnar O.</i> Preparations of the tumor necrosis factor: characteristics, production methods and modification	# 6

### **Enterprise Economy and Social Development**

<i>Strashynska L., Nikolaenko I.</i> Marketing aspects of snack food market development in Ukraine	# 1
<i>Esh S., Holovina V.</i> Actual changes in local finances	# 1
<i>Penchuk G.</i> World experience of government regulation of agro-industrial enterprises	# 2
<i>Sokol T.</i> The issue of the professional training of guides and event staff in tourism	# 2
<i>Pylypenko O.</i> Development of food industry of Ukraine	# 3
<i>Zaretska L., Kulinich O.</i> Transformation of economic systems: theoretical aspects	# 3
<i>Keranchuk T.</i> Modern trends development of dairy industry in Ukraine	# 3
<i>Garkavko V., Bykova V., Zaporozhan Yu., Mazurova K.</i> D.I. Mendeleyev: chemical-naturalist, industrialist, manager, thinker and economist, scientist and person	# 3
<i>Minenko M.</i> Regulation of economic activity of sectors of the national economy	# 3
<i>Dragan O.</i> Improving the management of higher education institutions, given the growing competition in the education market	# 3
<i>Barsuk Yu.</i> Social and economic aspects of the transformation processes of the agrarian sector of Ukraine	# 4
<i>Dragan E., Berger A.</i> Applied aspects of improving labor formation in meat processing industry enterprises	# 4
<i>Arych M., Shirinyan L.</i> Investigation of the competitiveness of the Ukrainian insurance market: geographic analysis	# 5, P. 2
<i>Minenko M.</i> Uncertainty of the institutional environment for the sustainable development of the processing industry of Ukraine	# 6
<i>Berezianko T.</i> Social and labour practices of corporates in food industry	# 6

### **Business Administration and Strategic Management**

<i>Sologub O., Nykonenko A.</i> Boston consulting group matrix as a tool of labor market analysis	# 1
<i>Hryshchenko D., Dvorak Yu.</i> Staff motivation as the main tool For achieving organizational goals	# 1

- Moskalenko V., Drobot J.* Personnel risk management as a way of improving the mechanism of personnel management # 2
- Kazakov O., Kazakova V.* Accounting management in the enterprise management system # 2
- Kravets S.* Essence and peculiarities of enterprise marketing risk management # 2
- Kondratiuk S., Dunda S.* Establishment of the strategic development mechanism of an enterprise # 2
- Maznyk L., Maznyk K.* Using the results of rating evaluation of the individual labor supply characteristics in the educational process # 2
- Strashynskiy V.* Adaptation of trade networks to the change of food consumption behavior in Ukraine # 3
- Penchuk G.* Theoretical aspects of marketing strategies in sales activity of agro-industrial enterprises # 3
- Maznyk L.* Using integrated assessment techniques in the field of human resources management # 3
- Kuzmin O., Popovich K., Voznyuk E., Linchevska A.* Development of elements of the Housekeeping service quality management system in the hotel facilities # 4
- Zhuzhukina N.* Motivation and incentives in terms of creative management # 4
- Arych M.* Crisis management optimization of the insurance companies as a tool for increasing their competitiveness # 4
- Kundieieva G., Kulish O.* Marketing strategy for development grain complex agriculture of Ukraine # 4

### **Life Sciences**

- Simakhina G., Naumenko N.* Herbal medicine as an important component of ayurvedic and traditional treatment systems # 1

### **Processes and Equipment for Food Industries**

- Shevchenko O., Tkachuk N., Stadnyk I., Derkach A.* Rheological approach to roller pumping of the environment # 1
- Pogorilyy T.* Regression equations for determining volumetric heat capacity  $c \cdot \rho$  of intercrystalline sucrose solution at sugar massecuite boiling # 1
- Kopylenko A., Kutovoy M., Povodzinskiy V., Shybetskiy V.* Classification and analysis of the performance of industrial fermenters supplying energy in a liquid phase # 1
- Buliy Y., Shiyan P., Kuts A., Kirilenko R.* Innovative technology of rectification in the mode of controlled delay loops and overflow of the liquid # 1
- Yakobchuk R., Yaroviy V.* Inert support for drying foodstuff on its surface in the vibrating fluid bed # 1
- Pogorilyy T.* Regression equations for determining thermal conductivity  $\lambda$  of intercrystalline sucrose solution at sugar massecuite boiling # 2
- Kopylenko A., Semeniuk S., Shybetskiy V., Kostyk S.* Innovative concept of hydrodynamic modeling in a roller bioreactor with surface cultivation of cell cultures # 2
- Zmievsii Yu.* Investigation of milk whey nanofiltration process # 2
- Shevchenko O., Sokolenko A., Vasylykivskiy K., Vinnichenko I.* Colligative properties of a culture medium # 2
- Kopylenko A., Povodzinskiy V., Kostyk S., Revtov O.* Modeling hydrodynamic mixing pneumatic device for aerobic microorganisms cultivation # 3
- Sokolenko A., Poddubny V., Koval O.* Transformation features of energy material flows in a closed circulation circuit # 3
- Shevchenko O., Vinnichenko I., Stepanets O., Boiko O.* Features of transformation of material and energy flows in fermentation media # 3

<i>Shevchenko O., Sokolenko A., Vasilkovsky K., But S.</i> Energy and material transformations in fermentation technology	# 4
<i>Lementar S., Ponomarenko V., Veresotsky Yu., Jakobchuk R.</i> Modeling of the process of milk dispensing by disks with different nozzle designs	# 4
<i>Dolinsky A., Avdeeva L., Zhukotsky E., Makarenko A.</i> Peculiarities of the influence of the construction of cavitation mixtures on the properties of obtained disperse systems	# 4
<i>Potapov V., Yakushenko E.</i> Theory and technology of drying thermolabile raw materials in mixed energy installations	# 5, P. 1
<i>Shevchenko O., Sokolenko A., Kostyuk V.</i> Generation of energy pulses in the environments of fermentation equipment	# 5, P. 1
<i>Derkach A., Lisovska T., Stadnyk I.</i> Design of optimal roll parameters for rolling the dough	# 5, P. 1
<i>Babanov I., Potapov V., Prasol S., Shevchenko A.</i> Model of heat exchange kinetics during the microwave processing of food raw materials	# 5, P. 1
<i>Misyura T., Zavialov V., Lobok O., Popova N., Zaporozhets Y.</i> Flows at viadrostraguvanni based on combined model	# 5, P. 1
<i>Gavva O., Kryvoplyas-Volodina L., Derenivska A.</i> Multicriterial structural and parametric synthesis of flow packing systems' functional modules	# 5, P. 1
<i>Stepanets O., Pryhodii D., Tkachuk N.</i> Dynamics and energy recuperation in technological machines	# 5, P. 2
<i>Mayak O., Sardarov A.</i> Investigation of the effects of drying modes of vibrating vacuum dryer on colorimetric indicators of plant raw materials	# 5, P. 2
<i>Babanov I., Babanova O., Beseda S., Shevchenko A.</i> Improving the chamber for thermal treatment of sausage products	# 5, P. 2
<i>Iakymchuk M., Gavva O.</i> Methodological basics of creation of mechatronic modules' functional clusters of packing equipment	# 5, P. 2
<i>Ukrainets A., Shiyan P., Buliy Y., Kuts A.</i> Innovation technology of rectification in the fashion phase mode movement	# 5, P. 2
<i>Sukmanov V., Zavialov V., Marynin A.</i> Research of extraction process wine-acids compounds from grape pomace of subcritical water environment	# 5, P. 2
<i>Shevchenko O., Sokolenko A., Stepanets O., Boiko O., Vinnichenko I.</i> Dynamics of transition processes in systems of anaerobic fermentation	# 6
<i>Khitriy Ya., Ponomarenko V.</i> The research of ejector with a compact and atomized liquid jet for sulphitation in the sugar industry	# 6
<i>Stupak Y., Vasilkovskiy K.</i> Intensive technologies energy-, masstransfer during sterilization of food products	# 6
<i>Miroshnik V., Kiktev N.</i> Investigation of the influence of the characteristics of the damp feed on the parameters of the transferable function of the control object	# 6

### **Heat and Electricity**

<i>Brzhezytskyi V., Desyatov O., Maslyuchenko I., Yatsenko I.</i> Frequency characteristics due to nonidentical R- and C-elements of high-voltage divider for measuring power quality	# 1
<i>Baluta S., Jovbak V., Kopilova L., Korolyov E.</i> Voltage control system with fuzzy controllers within the power distribution system of industrial plant	# 1
<i>Romanenko V.</i> Methods of the heat conduction problems solution by means of transition to the corresponding difference equations on the semiaxis	# 1
<i>Pavelko V., Hlynianyi S.</i> Improving the energy efficiency of steam generators of low and medium power boiler equipment of meat processing plants	# 1

- Shesterenko V., Izvolenskiy I.* Improving the efficiency of reactive power compensation in electro-power systems # 2
- Dudko S.* Some modeling results of the tunnel baking oven heating system operation # 2
- Dudko S.* Phenomenon of spontaneous reproduction of the heating mode in baking oven with cyclothermic heating system # 3
- Baluta S., Jovbak V., Kopilova L., Lytvyn I.* Mathematical model of electric energy consumers for transformer voltage control # 3
- Shutyuk V., Vasylenko S., But S.* Analysis of heat transfer during the pulp drying process with superheated steam # 3
- Brzhezytskyi V., Laposha N., Maslyuchenko I.* Compensated high-voltage high-frequency reactor # 4
- Sharkova N., Turchyna T., Zhukotskyy E., Kostyanets L.* Modernization of the experimental stand for studying the drying process of single drops of liquid systems # 4
- Shesterenko V., Izvolenskiy I.* Optimization of the compensation system of the reactive power of the sugar plant # 5, P. 2
- Baluta S., Kopilova L., Litvin I.* System analysis and approaches to the construction of the automated electricity management system and electrical supply of the industrial enterprise # 5, P. 2
- Brzhezytskyi V., Laposha N., Maslyuchenko I., Khominich V.* Improvement of high-voltage glass insulators # 6

#### **Physical and Mathematical Sciences**

- Korol A., Litvynchuk S., Hutsalo I., Vyshniak V.* Tunneling transparency of the graphene symmetrical double-barrier structure with the Fermi velocity barriers # 6

#### **Food Technology**

- Husyatynska N., Nechipor T., Teterina S.* Study on the effectiveness of natural disinfectant “Betastab” for sugar beet processing # 1
- Omelchenko Ch., Polumbryk M., Pasichnyi V., Polumbryk O.* The complex of iodine with  $\beta$ -cyclodextrin as a functional additive in the technology of cooked sausage products # 1
- Silchuk T., Drobot V.* Research of biotechnologic properties of dough semi-finished products # 1
- Koshova V., Mukoid R., Kobernitska A.* Influence of water temperature on the duration of buckwheat soaking # 1
- Ianchyk M., Niemirich O., Gavrysh A., Yanchyk O.* Quality analysis of confectionery semi-finished products containing plant powders during storage # 1
- Lyubtsova Y., Popova N., Misyura T.* Determining the optimal composition of green sauce mixture over the content of vitamin C # 1
- Marchenko T., Polishchuk H.* Scientific basis for feasibility of using glucose syrup in yogurts # 1
- Simakhina G., Khalapsina S.* Structural and biochemical shifts in protein compounds during wild berries freezing # 2
- Zinchenko I., Terletska V.* Protein substances changes in mushrooms during hydrothermal treatment in mushroom snacks technology # 2
- Karpova A., Kunitza K., Biletskiy E.* The technology of flour confectionery products using new prescription components # 2
- Gnitsevych V., Deinychenko L., Goralchuk A.* Rheological properties of milk-protein concentrates # 2

- Kuzmin O., Komarnytskyi R., Hubenia V., Dochynets I.* Developing the method of complex quantitative estimation of the quality of biscuitine ready-to-cook foods # 2
- Holovko N., Penkina N., Kolesnyk V., Polupan V.* The use of priori distribution factors while creating the recipes of alcoholic beverages # 2
- Makhynko V., Drobot V., Sokolovska I., Chernish L.* Reference protein formula: stages of development and modern standards # 2
- Zhulinska O., Svidlo K., Polovin B.* Defining the standard parameters of functional food quality and safety # 2
- Ukrayinets A., Pasichnyi V., Moroz O., Nevodyuk I.* Use of protein production fillers in smoked sausages # 2
- Buliy Y., Shiyani P., Kuts A., Dmitruk A.* Improving the operating characteristics of distillation and rectification plants through the use of technology-driven rectification # 2
- Mykhonik L., Gryshchenko A.* Using rice flour in the production technology of gluten-free bread # 2
- Kovbasa V., Kovalenko O.* Studying the quality of potato chips during storage # 3
- Koroluk T., Nosenko T., Usatiuk S., Kostinova T.* Using gas chromatography for identification and detection of walnut oil adulteration # 3
- Frolova N., Ukrainets A., Silka I.* Summary of the practical studies for identifying the components of flavor sources # 3
- Tischenko V., Bozhko N., Pasichnyi V.* Development of formulation of multicomponent meatloaf on the basis of minced freshwater fish # 3
- Simakhina G., Khalapsina S.* Efficiency of using cryoprotectors when freezing wild and cultivated berries # 3
- Melnyk L., Matko S.* Research of the methods of raw material processing at the production of candied potatoes # 3
- Oseyko M., Romanovska T., Shevchyk V.* Functional products in endoecology health concepts # 3
- Tkachenko V., Popova N., Misyura T.* Research of the component composition of the filling of enriched curds in protein glaze # 3
- Osmak T., Fedonyuk M.* Study of foam characteristics of milkshakes containing natural stabilizers # 3
- Dorohovych V., Abramova A.* Development of dietetic sponge cakes based on the new generation of sugar replacers # 3
- Bondarenko Ya., Drobot V., Bilyk O., Bilas Ya.* Using flax seeds urbech in the production of wheat bread # 3
- Hrehirchak N., Ukrainets E., Zvyagintseva-Semenets Y., Kobylinskaya E., Kambulova Y.* Microbiological analysis of low-fat cream # 3
- Kosheva V., Misyura T., Popova N.* Influence of enzyme preparations on colloid resistance of beer # 4
- Sytnik N., Demidov I., Mazaeva V., Golodnyak V.* Chromatographic determination of triacylglycerol composition of interesterified liquid vegetable oils # 4
- Dubinina A., Sherbakova T., Khatskevich Yu., Lenert S., Borysova A.* Ways of stabilizing the color of vegetable raw material during its processing # 4
- Dorohovych A., Petrenko M.* Use of modified starch and milk protein isolate in the technology of hard dough cookies for special purpose # 4
- Kochubei-Lytnyenko O., Chernyshok O., Dmytrukha N., Lahutina O.* Assessment of cytotoxic activity of milk whey enriched with magnesium and manganese particles # 4
- Yushchenko N., Grabova T., Kuzmyk U., Pasichnyi V.* Determining the technological parameters of obtaining extraction of sumac for further use in the technology of sour-milk paste # 4



<i>Shidakova-Kamenyuka E., Novik A., Oliinyk S., Zaparenko A.</i> Influence of nut raw material processing products on technological properties of wheat flour	# 4
<i>Ustymenko I., Polischuk G.</i> Substantiation of emulsion homogenization modes and their content in the composition of protein-fatty granulated cottage cheese	# 4
<i>Dorokhovych V.</i> Innovative technologies of low-calorie pastry	# 4
<i>Ditrykh I., Bui L., Hanzha A.</i> Methods of improving vegetarian food based on replacing animal products by chia seeds	# 4
<i>Lysyi O., Hrabovska O.</i> Natural basis for fast-cooked kissel	# 4
<i>Hrehirchak N., Peshuk L., Zusko K., Ivanova T., Zabolotnya O.</i> Investigation of sausages with quercetin and native quercetin-containing raw materials of extended shelf life	# 4
<i>Khudik L., Melnyk O.</i> Dynamics of chemical components of apples, treated with 1-methylcyclopropene after harvesting	# 4
<i>Moskalyuk O., Haschuk A.</i> Development of pâté using the Choice phytocomplex of cereal cultures	# 4
<i>Huts V., Simakhina G., Solodko L.</i> Improvement of the theory of modelling the amino acid content of plant green mass half-products	# 4
<i>Yukalo V., Storozh L.</i> Obtaining bioactive casein phosphopeptides using different solvents	# 5, P. 1
<i>Evlash V., Kuznetsova T., Artamonova M., Foshan A., Otroshko N., Piliugina I., Zheleznyak Z., Vovchinsky I., Kalugin O.</i> Development of scientifically grounded technologies of food products of increased nutritional value using structure formers of different origin	# 5, P. 1
<i>Zakharov V., Zmievs'kii Yu., Biletska I., Myronchuk V.</i> Ozonation of milk industry fluids	# 5, P. 1
<i>Cherevko O., Dubinina A., Mykhailov V., Shcherbakova T., Lenert S.</i> Determining the effect of internal and external factors on the formation of color of fruits by means of color parameters	# 5, P. 1
<i>Golovko N., Golovko T., Gelikh A.</i> Investigating structural and biochemical changes while freezing and storage of freshwater mussel semi-products	# 5, P. 1
<i>Pasichnyi V., Polumbryk M., Polumbryk M., Litvyak V., Vyshnevskiy O.</i> Research of surface morphology and textures of minced meat in boiled sausages	# 5, P. 1
<i>Vasilenko Z., Nikulin V., Lazovikova L.</i> Influence of the hydrolysis parameters of protopectine of granulated apple pomace on the output and indexes of quality of the received pectin	# 5, P. 1
<i>Sukhenko Y., Sukhenko V., Mushtruk M., Vasuliv V., Boyko Y.</i> Quality of minced meat products and its change in the process of grinding	# 5, P. 1
<i>Kochubei-Lytvynenko O., Chernyushok O.</i> New approaches for microelement enrichment of dry milk whey concentrates	# 5, P. 1
<i>Ukrainets A., Bolshak Yu., Marynin A.</i> Use of non-reagent modified water for increase of food industry efficiency and improvement of food products quality	# 5, P. 1
<i>Prytulska N., Motuzka I., Gulich M., Aslanyan S., Antiushko D.</i> 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	# 5, P. 1
<i>Igorov B., Zhygunov D., Mardar M., Znachek R., Zhyhunova G.</i> Technological properties of emmer and spelta grain and perspectives of their using for food production	# 5, P. 1
<i>Iorgachova K., Makarova O., Khvostenko K., Kotuzaki O.</i> Improving and stabilizing the pastry quality due to the usage of various types of flour	# 5, P. 1

<i>Nosenko T., Cherstva A., Korolyuk T.</i> Effect of previous enzymatic treatment of rapeseed meal on the lipase activity and oil quality	# 5, P. 1
<i>Verkhivker Ya., Miroshnichenko E., Altman E.</i> Methodology for developing modern regulatory and technological documentation for food products manufacturing according to international standards	# 5, P. 1
<i>Yushchenko N., Grabova T., Kuzmyk U., Pasichnyi V.</i> Determination of technological parameters for producing sumac extract for further use in dairy pastes technology	# 5, P. 1
<i>Kuzmyk U., Yushchenko N., Pasichnyi V., Mukoliv I.</i> Determining the content of biological active substances in the developed compositions of spices	# 5, P. 2
<i>Simakhina G., Naumenko N.</i> Functional changes in human organism within extreme conditions and their biological correction with foodstuff components	# 5, P. 2
<i>Sukhodolsha N., Ischenko V., Kochubei-Lytvynenko O.</i> Search for the detection markers of drinking milk falsifiers using combined analytical and chemometric methods	# 5, P. 2
<i>Lisovska T., Derkach A., Stadnik I.</i> Studying the possibility of using the extruded corn meal in the technology of recreational products	# 5, P. 2
<i>Shulga O., Chorna A.</i> Schardinger dextrans as raw materials for edible films and coatings	# 5, P. 2
<i>Bozhko N., Tischenko V., Pasichnyi V., Moroz O.</i> Developing the formulas of boiled-smoked sausages containing muscovy duck meat	# 5, P. 2
<i>Pyvovarov Y., Neklesa O., Stepankova G., Korotayeva Y., Tyutyukova D., Dich-tyar A., Mriachenko N.</i> Scientific bases of the technologies of health-promoting food products prepared using the accumulation of functional ingredients	# 5, P. 2
<i>Goncharenko T., Topchiiy O., Kyshenko I.</i> Research of the efficiency of different methods of vegetable raw material preparation in the recipes of minced semi-finished products	# 5, P. 2
<i>Pavlyuk R., Pogarskaya V., Balabai K., Pogarskiy O., Stukonozhenko T., Kakadiy J.</i> The effect of mechanolysis on activation of hardly soluble nanocomplexes of hetero-polysaccharides during the development of nanotechnologies of herbal additives	# 5, P. 2
<i>Bilko M.</i> Substantiation of the method of champanization in the production of varietal rosé sparkling wines	# 5, P. 2
<i>Pritulskaya N., Karpenko P., Kravchenko M., Gnitsevich V., Fedorova D., Yudina T.</i> Scientific and practical aspects of development of food products for military personnel	# 5, P. 2
<i>Iorgacheva K., Lebedenko T., Kozhevnikova V., Sokolova N.</i> Using phyto-extracts for solving baking industry issues	# 5, P. 2
<i>Zhygunov D., Sots S., Kustov I.</i> Features of using naked grain oats and hullless barley for developing new high quality grain based food	# 5, P. 2
<i>Makhynko V.</i> Nomograph for determining daily human energy and protein requirements	# 5, P. 2
<i>Peshuk L., Zabolotnya O., Ivanova T.</i> Physico-chemical properties of mechanically deboned poultry meat washed with various organic acids	# 5, P. 2
<i>Frolova N., Ukrainets A., Sylka I., Naumenko K., Chepel N.</i> Actuality and ways of processing lokal spicy-aromatic raw materials into food flavors	# 5, P. 2
<i>Kuzmin O., Sujkov S.</i> Developing relaxation in aqueous-alcoholic systems under electrochemical activation of drinking water	# 5, P. 2
<i>Bilyk O.</i> Development of complex bakery improving agents for bakery products of extended shelf life	# 5, P. 2

- Simakhina G., Khalapsina S.* Estimating the microbiological purity of frozen and defrosted berries # 6
- Obolkina V., Nosenko T., Dzyhar O., Rakhmetov D.* Study of the content of biologically active compounds in monarda didyma leaves with aim of the use of spise-aromatic phyto raw materials in production of crackers with extended shelf life # 6
- Bortnichuk O., Dotsenko V., Tsirulnikova V.* Influence of improvers on biochemical processes in the dough with wheat bran and dry whey # 6
- Grek O., Onopriichuk O., Tymchuk A., Ovsienko K.* The definition of the quality indicators of albumine paste wiht potato cellulose # 6
- Rozhno O., Yurchak V., Rak V.* Research of food, biological value and digestibility of gluten-free pasta made from corn flour # 6
- Drobot V., Mykhonik L., Gryshenko A.* The influence of structure forming food additives on the quality of gluten-free bread made from the mixture of rice and corn flour # 6
- Skochko O., Kyshenko I.* Study of cryoprotectoral properties of food fibers in the composition of meat pharmaceuticals systems # 6
- Peshuk L., Gorbach O.* Development of a complex protein-mineral-carbohydrate supplement based on animal proteins # 6
- Dorohovych A., Petrenko M.* The influence of the stitched starch, inulin and protein isolates on the process of thermal processing of protracted cookies for special purpose # 6
- Husyatynska N., Nechypor T.* The efficiency of modern disinfectants in the sugar beet processing affected by bacteria of *Leuconostoc* # 6
- Bessarab O., Pisarev M., Bandurenko H.* Development of technology of dried semi-finished product from young potatoes # 6
- Ukrainets A., Buliy Y., Shiyani P., Kuts A.* Resource- saving technology of rectified ethyl alcohol # 6
- Sharkova N., Zhukotsky E., Dekusha G., Kostyanets L.* Investigation of dinamical viscosity of water suspension of shiitake sporocarp # 6

### **Chemical Sciences**

- Kronikovskii O., Kotlyar E., Didenko V., Kronikovska O.* Distribution of trichloroacetic acid between water and organic solvents # 3
- Maiboroda O., Simurova N., Kovaleva S., Britsun V.* Synthesis of 2- (4'-piperidyl-methyl)-2,3-dihydro-1*H*-benzo[*de*]isoquinoline-1,3-dione and its N-derivatives # 6

## 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 роздручків 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 (1 800 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.