



2020

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 26 № 2

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2020

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

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

Journal “Scientific Works of National University of Food Technologies” is included into the list of professional editions of Ukraine of technical (specialties — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) and economic sciences (specialties — 051, 073, 075), category “B” (Decree of MES of Ukraine # 975 from July 11, 2019), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Editorial office address:

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 9 from 17th of March, 2020

© NUFT, 2020

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

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

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних (спеціальності — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) та економічних наук (спеціальності — 051, 073, 075), категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Адреса редакції:

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій. Протокол № 9 від 17 березня 2020 року

© НУХТ, 2020

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Анатолій Українець
Anatoliy Ukrainets

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

Заступник головного редактора
Deputy chief editor

Олександр Шевченко
Olexander Shevchenko

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

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Юрій Пенчук
Yuriy Penchuk

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

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене
Agota Giedre Raisiene

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

Атанаска Тенева
Atanaska Teneva

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

Анатолій Зайнчковський
Anatoly Zainchkovskiy

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

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

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

Андрій Маринін
Andrii Marynin

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

Брайан Мак Кенна
Brian McKenna

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

Валерій Мирончук
Valerii Myronchuk

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

Василь Кишенько
Vasyl Kyshenko

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

Василь Пасічний
Vasyl Pasichnyi

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

Віктор Доценко
Victor Dotsenko

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

Віктор Стабніков
Viktor Stabnikov

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

Володимир Зав'ялов
Volodymyr Zavialov

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

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

| | |
|---|-----|
| ЗМІСТ | |
| Автоматизація та інформаційні технології | |
| <i>Лобок О. П., Гончаренко Б. М., Віхрова Л. Г.</i> | 7 |
| Мінімаксне та H^{∞} -оптимальне керування лінійними нестационарними системами | |
| <i>Струзік В. А., Грибков С. В., Чобану В. В.</i> | 31 |
| Категорія рефакторинг доступу | |
| Безпека харчових продуктів і охорона праці | |
| <i>Горцева Л. В., Костюченко Т. П., Стадничук Н. О., Міхлик І. В., Кроніковський О. І.</i> | 50 |
| Особливості безпечного використання і токсикологічна оцінка сучасного харчового пакування та вимоги до нього | |
| Біотехнології | |
| <i>Харченко Є. В., Скроцька О. І.</i> | 57 |
| Використання мікроорганізмів для біогенного синтезу наночастинок | |
| Економіка, менеджмент і маркетинг | |
| <i>Еш С. М., Герасименко Д. Д.</i> | 71 |
| Стан впровадження децентралізації в Україні | |
| <i>Бікулов Д. Т., Гаркуша В. А., Головань О. О., Олійник О. М., Маркова С. В.</i> | 80 |
| Стратегічний менеджмент портфеля брендів структурного підрозділу ТНК на локальному ринку | |
| <i>Драган О. І., Чеснік Н. М.</i> | 90 |
| Досвід впровадження системи екологічного менеджменту на підприємствах олійно-жирової галузі | |
| <i>Кундієєва Г. О.</i> | 100 |
| Капітал здоров'я як базовий компонент людського капіталу | |
| <i>Пенчук Г. С., Закревська Л. М.</i> | 110 |
| Особливості розроблення та презентації бізнес-проектів | |
| <i>Скопенко Н. С., Євсєєва-Северина І. В.</i> | 120 |
| Ризик-менеджмент як необхідна складова системи економічної безпеки виробничих підприємств | |
| Механічна та електрична інженерія | |
| <i>Онищенко Я. Д., Замулко А. І.</i> | 130 |
| Системний підхід в енергетичному менеджменті як аналітичний засіб для оцінювання енергоємних процесів на підприємствах харчової промисловості України | |
| <i>Шевченко О. Ю., Бедрик О. В., Малета В. М.</i> | 140 |
| Моделювання ректифікаційної колони з циклічним режимом роботи при виробництві етанолу | |
| Фізико-математичні науки | |
| <i>Король А. М., Медвідь Н. В.</i> | 153 |
| Особливості руху псевдорелятивістських діраківських квазічастинок в альфа- T_3 моделі зі сходинкоподібним бар'єром | |
| Харчові технології | |
| <i>Сімахіна Г. О., Висоцький О. О.</i> | 161 |
| Печиво модифікованого вуглеводного складу для діабетичного харчування | |
| <i>Романова З. М., Федорова Н. В., Романов О. С.</i> | 170 |
| Дослідження впливу часткової заміни хмелю нетрадиційною сировиною на показники готового пива | |

CONTENTS

Automation and Information Technologies

| | |
|--|-----|
| <i>Lobok O., Goncharenko B., Vihrova L.</i> | 7 |
| Minimax and H^{∞} -optimal control of linear unsteady systems | |
| <i>Struzik V., Hrybkov S., Chobanu V.</i> | 31 |
| Access refactoring category | |
| Food Products Safety and Occupational Health | |
| <i>Gorceva L., Kostjuchenko T., Stadnichuk N., Mihlik I.</i> | 50 |
| Peculiarities of safe use and toxicological assessment of modern food packaging and its requirements | |
| Biotechnology | |
| <i>Kharchenko Y., Skrotska O.</i> | 57 |
| The use of microorganisms for biogenic synthesis of nanoparticles | |
| Economy, Management and Marketing | |
| <i>Esh S., Gerasimenko D.</i> | 71 |
| The state of implementation of the decentralization in Ukraine | |
| <i>Bikulov D., Harkusha V., Holovan O., Oliyynyk O., Markova S.</i> | 80 |
| Strategic management of TNC local subdivision brand portfolio on the local market | |
| <i>Dragan O., Chesnik N.</i> | 90 |
| Experience of introduction of ecological management system on the enterprises of oil and fat processing industry | |
| <i>Kundieieva G.</i> | 100 |
| Health capital as the basic component of human capital | |
| <i>Penchuk H., Zakrevska L.</i> | 110 |
| Features of development and presentation of business projects | |
| <i>Skopenko N., Yevsieieva-Severyna I.</i> | 120 |
| Risk management as an essential element of enterprise economic security system | |
| Mechanical and Electrical Engineering | |
| <i>Onyshchenko Y., Zamulko A.</i> | 130 |
| System approach in energy management as an analytical tool for evaluating energy-intensive processes in the food industry of Ukraine | |
| <i>Shevchenko O., Bedrick O., Maleta V.</i> | 140 |
| Rectification column modeling with a cycle operation mode in the production of ethanol | |
| Physical and Mathematical Sciences | |
| <i>Korol A., Medvid' N.</i> | 153 |
| Peculiarities of the motion of the pseudorelativistic dirac quasiparticles in the alpha- T_3 model with the step-like barrier | |
| Food Technology | |
| <i>Simakhina G., Vysotsky O.</i> | 161 |
| Biscuits with modified carbohydrate composition for diabetic nutrition | |
| <i>Romanova Z., Fedorova N., Romanov O.</i> | 170 |
| Investigation of impact of the partial hop replacement with unconventional raw on ripe beer indicators | |

- Удовенко О. О., Гладкий Ф. Ф., Литвиненко О. А., Куниця К. В., Ситник Н. С. Модифіковані жири: окиснювальна стабільність і визначення шляхів застосування у складі харчових продуктів
- Дорохович В. В., Грицевіч М. Ю., Лоза І. П. Проблематика розроблення кондитерських виробів для хворих на фенілкетонурию
- Бойко М. І. Використання софори японської як нетрадиційної сировини у пивоварній промисловості
- Капустян А. І., Черно Н. К. Поліфункціональні харчові інгредієнти на основі комплексів біометалів зі сполуками пробіотичного походження
- Шевченко І. І., Поліщук Г. Є., Філоненко М. І., Осмак Т. Г. Вивчення структуруючих властивостей трансглютамінази у білковмісних системах
- Білик О. А., Бурченко Л. М., Халікова Е. Ф., Йолтухівська А. В. Вплив суміші пророщених зернових культур на основні технологічні параметри і якість хліба пшеничного
- Бондаренко Ю. В., Андронович Г. М., Грищенко А. М., Анич А. М. Застосування операції гідратації насіння льону у виробництві пшеничного хліба
- Іоргачова К. Г., Макарова О. В., Хвостенко К. В., Фатеева А. С. Використання борошна з м'якозерної пшениці при виробництві цукрових і листових вафель
- 176 Udoenko O., Gladkiy F., Litvinenko O., Kunitsia K., Sytnik N. Modified fats: oxidative stability and determination of ways of application in food products
- 187 Dorokhovych V., Hrytsevich M., Loza I. Problems of confectionery products development for patients with phenylketonuria
- 195 Boyko M. Use of japanese sofora as a non-traditional raw material in the brewing industry
- 201 Kapustian A., Chernon N. Polyfunctional food ingredients based on the complexes of biometals with compounds of probiotic origin
- 212 Shevchenko I., Polishchuk G., Filonenko M., Osmak T. Study of structural properties of transglutaminase in systems, containing protein
- 220 Bilyk O., Burchenko L., Halikova E., Yoltukhivska A. The influence of mixture of grains on basic technological parameters and quality of wheat bread
- 232 Bondarenko Yu., Andronovych H., Hryshchenko A., Anych A. Effectiveness of the application of flax seed hydration in the wheat bread production
- 244 Iorgachova K., Makarova O., Khvostenko K., Fateeva A. The soft wheat flour usage in the wafer sheet and sugar wafers technology

MINIMAX AND H^∞ -OPTIMAL CONTROL OF LINEAR UNSTEADY SYSTEMS

O. Lobok, B. Goncharenko

National University of Food Technologies

L. Vihrova

Central Ukrainian National Technical University

Key words:

*Minimax control
Robust controllers
Systems with uncertainties
Optimization
Matrix form*

Article history:

Received 05.03.2020
Received in revised form
19.03.2020
Accepted 06.04.2020

Corresponding author:

O. Lobok

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The problem of synthesis of minimax control for the dynamic, described by the system of differential equations (taking into account the state, controls, perturbations and initial conditions, with the given equation of observation inclusive) of objects functioning in accordance with the integral-quadratic quality criterion in uncertainty is solved in the work.

External perturbations, errors, and initial conditions were assumed to belong to a number of uncertainties. The task of finding optimal control in the form of a feedback object that minimizes the performance criterion is presented in the form of a minimum maximal uncertainty control problem. In the absence of ready-made solution paths, this problem is reduced to a H^∞ -control problem under the most unfavorable disturbances, and in addition to a dynamic game problem with zero sum and a certain price for the game, and a strategy for solving it is proposed that offers a way to new results.

The problem of finding the optimal control and the initial state that maximize the quality criterion is considered in the framework of the optimization problem solved by the Lagrange multiplier method after introducing the auxiliary scalar function, the Hamiltonian. It is shown that to find the maximum value of the criterion, either the necessary condition of the extremum of the first kind can be used, which depends on the ratio of the first variation of the criterion and the first variations of the control vectors and the initial state, or also the necessary condition of the extremum of the second kind, which depends on the sign of the second variation. For the first and second variations, formulas are given that can be used for calculations.

It is suggested to solve the control search problem in two steps: search for an intermediate solution at fixed values of control vectors and errors, and then search for final optimal control. Consideration is also given to solving H^∞ -optimal control for infinite control time with respect to the signal from the compensator output, as well as solving the corresponding Riccati matrix algebraic equations.

**МІНІМАКСНЕ ТА H^∞ -ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ
ЛІНІЙНИМИ НЕСТАЦІОНАРНИМИ СИСТЕМАМИ****О. П. Лобок, Б. М. Гончаренко***Національний університет харчових технологій***Л. Г. Віхрова***Центральноукраїнський національний технічний університет*

У статті розв'язано задачу синтезу мінімаксного керування для динамічних, описаних системою диференційних рівнянь (з урахуванням стану, керувань, збурень і початкових умов, з наведеним рівнянням спостереження включно), об'єктів, що функціонують з інтегрально-квадратичним критерієм якості в умовах невизначеності.

Припускалося, що зовнішні збурення, похибки та початкові умови належать певній множині невизначеностей. Задача пошуку оптимального керування у вигляді зворотного по виходу об'єкта зв'язку, який мінімізує критерій функціонування, представлена у вигляді мінімаксної задачі оптимального керування за умов невизначеностей. За відсутності готових шляхів розв'язання показане зведення цієї задачі до задачі H^∞ -керування при найбільш несприятливих збуреннях і, крім того, до динамічної ігрової задачі з нульовою сумою та визначеною ціною гри, наведена стратегія її розв'язання, що пропонує шлях до нових результатів.

Завдання пошуку оптимального керування і початкового стану, що максимізують критерій якості, розглянуто в рамках оптимізаційної задачі, яку розв'язано методом множників Лагранжа після введення допоміжної скалярної функції — гамільтоніана. Показано, що для знаходження максимального значення критерію може бути використана або необхідна умова екстремуму першого роду, що залежить від співвідношення першої варіації критерію та перших варіацій векторів керування і початкового стану, або необхідна умова екстремуму другого роду, що залежить від знака другої варіації. Для перших і других варіацій наведено формули, які можуть використовуватися для розрахунків.

Запропоновано задачу пошуку керування розв'язувати в два етапи: пошук проміжного розв'язку при фіксованих значеннях векторів керування та похибки і наступний пошук остаточного оптимального керування. Розглянуто також розв'язання H^∞ -оптимального керування на нескінченному часі з урахуванням сигналу з виходу компенсатора, а також розв'язання відповідних матричних алгебраїчних рівнянь типу Рікатті.

Ключові слова: мінімаксне керування, робастні регулятори, системи з невизначеностями, оптимізація, матрична форма.

Formulation of the problem. Initially, the main results of studies of linear automatic control systems were the notion of stability and its criteria based on characteristic

polynomials. Subsequently, with the development of radio engineering and electronic automation systems, frequency research methods, which later expanded to impulse, discrete, and nonlinear systems in connection with the development of computing, became the main ones. The advancement of astronautics has led to the study of automatic systems in the state of space, the idea of optimizing control systems with the simultaneous optimization of their quality indicators.

Subsequent progress has made it possible to combine frequency with methods of state space research, which in addition to optimization has made it possible to solve problems with any uncertainties — robust control. However, the uncertainty of the frequency response of control objects is limited in the — norm and can be specified in both parametric and matrix form when described in the state space [1].

For uncertainties, it is fruitful to apply a minimax approach when the optimal controller is in the state of the object, which operates under uncertainty so that it minimizes the maximum error (deviation of the current state of the system from a given or desired one) from the set of possible values taking into account the most unfavorable perturbations that can affect an object or system. However, the solution to this problem is not always obvious [2], and its search requires more research.

Consider a dynamic object described by the following system of differential equations [3]

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t), & t_0 < t < T, \\ x(t_0) = F_0x_0, \end{cases} \quad (1)$$

where $x(t) \in R^{n_x}$ — state vector, $u(t) \in R^{n_u}$ — control vector, $w(t) \in R^{n_w}$ — unknown vector of external perturbations acting on an object, $x_0 \in R^{n_0}$ — unknown vector of initial conditions, $A(t) \in R^{n_x \times n_x}$, $B(t) \in R^{n_x \times n_u}$, $F_w(t) \in R^{n_x \times n_w}$, $F_0 \in R^{n_x \times n_0}$ — given matrices of corresponding dimensions.

Let the object be monitored by the equation

$$y(t) = C(t)x(t) + F_v(t)v(t), \quad (2)$$

where $y(t) \in R^{n_y}$ — the result of observation, $v(t) \in R^{n_v}$ — unknown measurement errors, $C(t) \in R^{n_y \times n_x}$, $F_v(t) \in R^{n_y \times n_v}$ — known matrices.

Consider and choose the integral-quadratic criterion of quality of functioning of the object in the form

$$I(u) = \int_{t_0}^T \left(x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) \right) dt + x^T(T)G_f x(T), \quad (3)$$

where $G_x(t) \in R^{n_x \times n_x}$, $G_u(t) \in R^{n_u \times n_u}$, $G_f \in R^{n_x \times n_x}$ — given symmetric weight matrices, and they are assumed to satisfy the conditions $G_x(t) = G_x^T(t) \geq 0$, $G_u(t) = G_u^T(t) > 0$, $G_f = G_f^T \geq 0$.

Here " T " — means the operation of transposing the matrix, $G = G^T$ — means that the matrix is symmetric, $G > 0$ ($G \geq 0$) — the condition of positive (inalienable) definiteness of the matrix, i.e. the matrix G has positive or inalienable eigenvalues.

With respect to the unknown vector of external perturbations $w(t)$, the vector of measurement errors $v(t)$ and the vector of initial conditions x_0 , they are assumed to belong to the next set of permissible perturbations (uncertainties)

$$\Omega_\xi = \left\{ \begin{array}{l} \xi: \xi = (w(t), v(t), x_0), w(t) \in L_2(t_0, T), \\ v(t) \in L_2(t_0, T), x_0 \in R^{n_0}; \|\xi\|^2 \leq 1 \end{array} \right\}, \quad (4)$$

where the norm $\|\xi\|$ of a vector-valued function ξ is defined by the following expression

$$\|\xi\|^2 = \int_{t_0}^T \left(w^T(t) R_w(t) w(t) + v^T(t) R_v(t) v(t) \right) dt + (x_0 - \hat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \hat{x}_0), \quad (5)$$

in which $R_w(t) \in R^{n_w \times n_w}$, $R_v(t) \in R^{n_v \times n_v}$, $R_0 \in R^{n_0 \times n_0}$ — are given weight matrices, and $R_w(t) = R_w^T(t) \geq 0$, $R_v(t) = R_v^T(t) > 0$, $R_0 = R_0^T \geq 0$, $\hat{x}_0 \in R^{n_0}$ is a known vector, in the vicinity of which is an unknown vector x_0 of the initial condition [4].

In addition, in (4), we denote by $L_2(t_0, T)$ the set of vector-integrated vector functions, i.e.

$$L_2(t_0, T) = \left\{ f(t) \in R^n : \int_{t_0}^T f^T(t) f(t) dt = \int_{t_0}^T \|f(t)\|^2 dt < \infty \right\}.$$

The purpose of the article. The task is to find the optimal control $u(t)$ in the form of feedback on the output, which minimizes the functional (3) with the most adverse perturbations $\xi = (w(t), v(t), x_0)$ acting on the object and in the observation channel.

Formally, this task can be represented as a minimal maximal control problem

$$\inf_u \sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u), \quad (6)$$

where $I(u)$ — the functional of the form (3), Ω_ξ — set of permissible uncertainties (4).

It is convenient to solve this task in the task of H^∞ -control. To do this, we first transform the quality criterion (3) accordingly, and then consider the feasibility of some assumptions that allow us to solve the problem.

Presenting main material. It is known [5] that any symmetric nonnegative matrix can be factored, that is, represent in the form $G = G^{1/2} \cdot G^{1/2}$ where the symmetric matrix $G^{1/2}$ can be found by means of the Choletsky procedure or through eigenvalues and matrix vectors G . So let us imagine the weight matrices $G_x(t)$, $G_u(t)$, G_f of functional (3) in the form

$$G_x(t) = G_x^{1/2}(t) \cdot G_x^{1/2}(t), \quad G_u(t) = G_u^{1/2}(t) \cdot G_u^{1/2}(t), \quad G_f = G_f^{1/2} \cdot G_f^{1/2}. \quad (7)$$

Then criterion (3) can be transformed as follows

$$\begin{aligned} I(u) &= \int_{t_0}^T \left(x^T(t) G_x^{1/2}(t) G_x^{1/2}(t) x(t) + u^T(t) G_u^{1/2}(t) G_u^{1/2}(t) u(t) \right) dt + x^T(T) G_f^{1/2} G_f^{1/2} x(T) = \\ &= \int_{t_0}^T z^T(t) z(t) dt + z^T(T) z(T) = \|z\|^2, \end{aligned}$$

where checked

$$z(t) = \begin{pmatrix} G_x^{1/2}(t)x(t) \\ G_u^{1/2}(t)u(t) \end{pmatrix}, \quad z(T) = G_f^{1/2}x(T),$$

and the norm $\|z\|^2$ is defined for the vector $z = \begin{pmatrix} z(t) \\ z(T) \end{pmatrix}$.

The vector $z(t)$ can be represented and so

$$z(t) = \begin{pmatrix} G_x^{1/2}(t) \\ 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ G_u^{1/2}(t) \end{pmatrix} u(t) \quad (8)$$

and interpret it together with the vector $z(T)$ as adjustable quantities.

Since system (1) is linear, there is a linear operator that maps (converts) the vector of external input influences acting on the system and the observation channel into a vector of regulated quantities z , that is $z = R(\xi)$. In view of this, let us transform expression (6) $\sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u)$, which describes the most negative effect of disturbances on

a control object in the sense of increasing the value of criterion (3)

$$\sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u) = \sup_{\xi \in \Omega_\xi} \|z\|^2 = \sup_{\|\xi\|^2 \leq 1} \|R(\xi)\|^2 = \sup_{\|\xi\| \leq 1} \|R(\xi)\|^2 = \sup_{\xi, \xi \neq 0} \frac{\|R(\xi)\|^2}{\|\xi\|^2}. \quad (9)$$

If we denote the last expression (9) by γ^2 , that is

$$\sup_{\xi, \xi \neq 0} \frac{\|R(\xi)\|^2}{\|\xi\|^2} = \gamma^2$$

then we get the obvious inequality

$$\frac{\|R(\xi)\|^2}{\|\xi\|^2} < \gamma^2 \quad \forall \xi (\|\xi\| \neq 0) \quad \text{or} \quad \frac{\|z\|^2}{\|\xi\|^2} < \gamma^2 \quad \forall \xi (\|\xi\| \neq 0), \quad (10)$$

the left part of which can be interpreted as the relative energy of the output signal z to the input ξ , and the right part γ^2 — as the limiting (maximum) value of this energy.

Inequality (10) underlies the theory of H^∞ -control [6]. The task of finding a control $u(t)$ that ensures that inequality (10) is satisfied at a given value γ^2 is known as the problem of extinguishing external perturbations [7]. Thus, the output of the minimax control problem will now be reduced to the H^∞ -control problem.

Further, in accordance with the general search method H^∞ -control, we introduce functional

$$J(u, \xi) = \|z\|^2 - \gamma^2 \|\xi\|^2 = I(u) - \gamma^2 \|\xi\|^2, \quad (11)$$

for which we find a point that satisfies the condition

$$J(u^*, \xi^*) = \min_u \max_\xi J(u, \xi). \quad (12)$$

A vector u^* is the desired control in which inequality (10) is given at a given value γ^2 , and ξ^* is the most adverse perturbation.

If control u is seen as a designer trying to minimize losses and perturbation ξ as a nature that resists the designer and tries to maximize his losses, then we have a dynamic game problem. It belongs to the class of zero-sum differential games and the price of the game described by the functional $J(u, \xi)$. If (u^*, ξ^*) is the saddle point of the game task, that is, the point that satisfies the condition

$$J(u^*, \xi) \leq J(u^*, \xi^*) \leq J(u, \xi^*),$$

then relation (12) determines the upper value of the price of the game.

To solve problem (12), we transform pre-function (11). Substituting expressions (3) and (5) into (11), and given that $\xi = (w, v, x_0)$, we obtain

$$J(u, v, w, x_0) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 (x_0 - \widehat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \widehat{x}_0) + \int_{t_0}^T \left[x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 (w^T(t)R_w(t)w(t) + v^T(t)R_v(t)v(t)) \right] dt. \quad (13)$$

Then problem (12) is transformed to the next expression

$$J(u^*, v^*, w^*, x_0^*) = \min_u \max_v \max_w \max_{x_0} J(u, v, w, x_0). \quad (14)$$

We solve the problem (14) in two stages:

a) first, solve the intermediate problem

$$J_0(u, v) = J(u, v, w^*, x_0^*) = \max_w \max_{x_0} J(u, v, w, x_0) \quad (15)$$

at fixed vectors u and v ;

b) then find the final optimal control by solving the following dynamic game problem

$$J(u^*, v^*, w^*, x_0^*) = \min_u \max_v J(u, v, w^*, x_0^*). \quad (16)$$

Once again, we transform the functional (13). To do this, expressing the vector of interference $v(t)$ from the equation of observations (2) and substituting it in (13), we obtain

$$J(u, v, w, x_0) = \|x(T)\|_{G_f}^2 - \gamma^2 \|x_0 - \widehat{x}_0\|_{R_0}^2 + \int_{t_0}^T \left[\|x(t)\|_{G_x(t)}^2 + \|u(t)\|_{G_u(t)}^2 - \gamma^2 \left(\|w(t)\|_{R_w(t)}^2 + \|y(t) - C(t)x(t)\|_{R(t)}^2 \right) \right] dt, \quad (17)$$

where

$$R(t) = (F_v^{-1}(t))^T R_v(t) F_v^{-1}(t). \quad (17.1)$$

Because the optimization parameters of problem (15) are heterogeneous, that is, $w(t)$ — a vector function and x_0 — a vector of constants, then to solve this optimization problem we use the methods of variational calculus, namely, we use the necessary and sufficient conditions of the extremum of the functional (15) in which both the first and second variations. Let us also dwell on the method of calculating them.

Variation of the quality criterion of the optimal control problem.

Suppose a controlled object is described by a system of differential equations [8]

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt} = f(x, u, t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = h(x_0), \end{cases} \quad (18)$$

where $x = x(t)$ — is the state vector, $u = u(t)$ is the control vector, $f(x, u, t)$, $h(x_0)$ — are the known analytical vector functions of the corresponding dimensions.

Consider the criterion of quality of functioning of the object in the following form

$$J(u, x_0) = \varphi(x_0, x(T)) + \int_{t_0}^T g(x, u, t) dt, \quad (19)$$

where $\varphi(x_0, x(T))$, $g(x, u, t)$ — given scalar functions.

We consider the problem of finding optimal control $u(t)$ and initial state x_0 that maximize the criterion (19) in the optimization problem

$$J(u, x_0) \rightarrow \max_{u, x_0}. \quad (20)$$

To solve it, we use the Lagrange multiplier method, according to which we introduce as a criterion auxiliary functional

$$I(u, x_0, \lambda) = \varphi(x_0, x(T)) + \int_{t_0}^T g(x, u, t) dt + \int_{t_0}^T \lambda^T(t) (f(x, u, t) - \dot{x}) dt, \quad (21)$$

where $\lambda(t)$ is the vector column of Lagrange multipliers.

For convenience, we also introduce an auxiliary scalar function $H(x, u, \lambda, t)$ called the Hamiltonian

$$H(x, u, \lambda, t) = g(x, u, t) + \lambda^T(t) f(x, u, t). \quad (22)$$

And taking into account the notation (22), we transform the functional (21)

$$\begin{aligned} I(u, x_0, \lambda) = & \varphi(x_0, x(T)) - \lambda^T(T) x(T) + \lambda^T(t_0) h(x_0) + \\ & + \int_{t_0}^T (H(x, u, \lambda, t) + \dot{\lambda}^T(t) x(t)) dt \end{aligned} \quad (23)$$

To find the maximum value of the functional $I(u, x_0, \lambda)$, the necessary condition of the extremum of the first kind is used, namely, in order for the functional $I(u, x_0, \lambda)$ to reach its extreme value, it is necessary for its variation $\delta I(u, x_0, \lambda) = 0$ to be equal to zero for all variations $\delta u(t)$ and δx_0 , and they do not rotate simultaneously to zero [9].

We find the first variation of criterion (23) corresponding to the variations of the control vector $u(t)$ and the initial condition x_0 (for fixed t_0 and T)

$$\begin{aligned} \delta I(u, x_0, \lambda) = & \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) \right)^T \delta x_0 + \\ & + \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} - \lambda(T) \right)^T \delta x(T) + \\ & + \int_{t_0}^T \left[\left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} + \dot{\lambda}(t) \right)^T \delta x(t) + \left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} \right)^T \delta u(t) \right] dt \end{aligned} \quad (24)$$

where $\delta x(t)$ — a variation of the state $x(t)$ corresponding to the variations of the initial state δx_0 and control $\delta u(t)$.

Note that upon receipt of variation (24), the following formulas for calculating the first variations were used

$$\begin{aligned} \delta \varphi(x_0, x(T)) &= \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} \right)^T \delta x_0 + \left(\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} \right)^T \delta x(T), \\ \delta H(x, u, \lambda, t) &= \left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} \right)^T \delta x(t) + \left(\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} \right)^T \delta u(t), \\ \delta (h^T(x_0) \lambda(t_0)) &= \left(\frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) \right)^T \delta x_0 = \lambda^T(t_0) \left(\frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \right)^T \delta x_0. \end{aligned}$$

Given the arbitrariness of variations δx_0 and $\delta u(t)$ (which do not rotate at the same time simultaneously), the necessary condition of the extremum ($\delta I(u, x_0, \lambda) = 0$) of the functional $I(u, x_0, \lambda)$ implies

$$\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} + \dot{\lambda}(t) = 0, \quad \frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) = 0, \quad \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} - \lambda(T) = 0, \quad (26)$$

And it follows from (25) that

$$\dot{\lambda}(t) = - \frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial x} = - \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial x} - \frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial x} \lambda(t), \quad (27)$$

$$\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} = \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial u} + \frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial u} \lambda(t) = 0. \quad (28)$$

Thus, the initial state x_0 and control vector $u(t)$ are necessary and certainly determined from the equations

$$\frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial H(x, u, \lambda, t)}{\partial u} = \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial u} + \frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial u} \lambda(t) = 0, \quad (30)$$

where vectors $x(t)$ and $\lambda(t)$ are exactly the solutions of the following system of conjugate equations (two-point boundary value problem)

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x, u, t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = h(x_0), \end{cases} \quad (31)$$

$$\begin{cases} \dot{\lambda}(t) = -\frac{\partial f^T(x, u, t)}{\partial x} \lambda(t) - \frac{\partial g(x, u, t)}{\partial x}, \\ \lambda(T) = \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)}. \end{cases} \quad (32)$$

To solve this optimization problem, a necessary condition of the extremum of the second kind can also be used [10]: in order for the functional (21) to reach the maximum value, it is necessary that the second variation $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ is non-positive, that is $\delta^2 I(u, x_0, \lambda) \leq 0$, for all non-zero simultaneously variations of arguments $\delta u(t)$ and δx_0 .

Note that the second variation $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ is determined by the following square form

$$\begin{aligned} \delta^2 I(u, x_0, \lambda) = & \delta x_0^T \left[\frac{\partial}{\partial x_0} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) \right)^T \right] \delta x_0 + \\ & + \delta x^T(T) \left[\frac{\partial}{\partial x(T)} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x(T)} \right)^T \right] \delta x(T) + \\ & + \int_{t_0}^T \left\{ \delta x^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^T \right] \delta x(t) + \delta x^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial u} \right)^T \right] \delta u(t) + \right. \\ & \left. + \delta u^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^T \right] \delta x(t) + \delta u^T(t) \left[\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial H}{\partial u} \right)^T \right] \delta u(t) \right\} dt \end{aligned} \quad (33)$$

where $H = H(x, u, \lambda, t)$ is the Hamiltonian function of the form (22).

A sufficient condition of the extremum of a functional $I(u, x_0, \lambda)$ is determined by inequality $\delta^2 I(u, x_0, \lambda) < 0$.

The following vector differentiation formulas were used to find variations [11]:

a) if $f(x, u)$ is the scalar function of vector arguments and $\frac{\partial}{\partial x}$ — gradient operator of the form (vector column)

$$\frac{\partial}{\partial x} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} \\ \frac{\partial}{\partial x_2} \\ \dots \\ \frac{\partial}{\partial x_n} \end{pmatrix},$$

then the gradient of the function $f(x,u)$ is equal to

$$f_x(x,u) = \frac{\partial f(x,u)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} f(x,u) = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} \\ \frac{\partial}{\partial x_2} \\ \dots \\ \frac{\partial}{\partial x_n} \end{pmatrix} f(x,u) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(x,u)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f(x,u)}{\partial x_2} \\ \dots \\ \frac{\partial f(x,u)}{\partial x_n} \end{pmatrix};$$

b) if $f(x,u)$ is the vector function of the vector arguments of the form

$$f(x,u) = \begin{pmatrix} f_1(x,u) \\ f_2(x,u) \\ \dots \\ f_n(x,u) \end{pmatrix},$$

then her Jacobian is equal

$$f_x(x,u) = \left(\frac{\partial f^T(x,u)}{\partial x} \right)^T = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(x,u)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x,u)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1(x,u)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(x,u)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x,u)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2(x,u)}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_n(x,u)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(x,u)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n(x,u)}{\partial x_n} \end{pmatrix};$$

c) if a is a vector of constants, then

$$\frac{\partial}{\partial x} (a^T f(x,u)) = \frac{\partial}{\partial x} (f^T(x,u) a) = \frac{\partial f^T(x,u)}{\partial x} a.$$

Recall also the second necessary condition of the extremum of the functional using the second variation $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ (and which will be used in the future). In order for the functional $I(u, x_0, \lambda)$ to reach its extreme value, it is necessary that the

second variation $\delta^2 I(u, x_0, \lambda)$ be $\delta^2 I(u, x_0, \lambda) \leq 0$ for all variations δx_0 and $\delta u(t)$ that do not simultaneously rotate to zero.

When looking for the second variation of the functional, we will further use the following formulas [12]:

a) if $f(x, u)$ — scalar function, then

$$\delta f(x, u) = \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \right)^T \delta x + \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial u} \right)^T \delta u;$$

b) if $f(x, u)$ — a vector function, and a — a vector of constants then

$$\delta (f^T(x, u)a) = a^T \left(\frac{\partial f^T(x, u)}{\partial x} \right)^T \delta x + a^T \left(\frac{\partial f^T(x, u)}{\partial u} \right)^T \delta u;$$

c) if $f(x, u)$ the scalar function of a vector argument $f(x)$, then

$$\begin{aligned} \delta^2 f(x, u) &= \delta x^T \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \right)^T \right] \delta x + \delta x^T \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial u} \right)^T \right] \delta u + \\ &+ \delta u^T \left[\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \right)^T \right] \delta x + \delta u^T \left[\frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial u} \right)^T \right] \delta u = \\ &= \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta u \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \right)^T & | & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial u} \right)^T \\ \hline \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial x} \right)^T & | & \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial f(x, u)}{\partial u} \right)^T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta u \end{pmatrix} \end{aligned}$$

In particular, for a scalar function of a vector argument, the second variation is determined by the following square form

$$\delta^2 f(x) = \delta x^T \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f(x)}{\partial x} \right)^T \right] \delta x.$$

Solution of the auxiliary optimization problem (continued).

Let us now return to the problem of finding the maximum value of the functional (17). To solve this problem, we use the Lagrange multiplier method, according to which we introduce functional

$$\begin{aligned} L(w, x_0, \lambda) &= J(u, v, w, x_0) + \\ &+ \int_{t_0}^T \lambda^T(t) (A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t) - \dot{x}(t)) dt, \end{aligned} \tag{34}$$

where $\lambda(t)$ is the vector of Lagrange multipliers, and the functional $J(u, v, w, x_0)$ is determined by (17).

We next use the necessary first-order extremum condition for the functional (34) ($\delta L(u, w, x_0) = 0$) and the results of the previous paragraph. Given that for our

optimization problem, the functions $f(x, w, t)$, $h(x_0)$, $\varphi(x_0, x(T))$, $g(x, w, t)$ are equal

$$\begin{aligned} f(x, w, t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t), \quad h(x_0) = F_0x_0, \\ \varphi(x_0, x(T)) &= x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 (x_0 - \hat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \hat{x}_0), \\ g(x, w, t) &= x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 w^T(t)R_w(t)w(t) - \\ &\quad - \gamma^2 (y(t) - C(t)x(t))^T R(t)(y(t) - C(t)x(t)), \\ R(t) &= (F_v^{-1}(t))^T R_v(t)F_v^{-1}(t), \end{aligned}$$

the solution of the problem $\max_{x_0, w} L(u, w, x_0)$ due to the necessary condition of the extremes of the first order is from the equations

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} + \frac{\partial h^T(x_0)}{\partial x_0} \lambda(t_0) &= 0, \\ \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial w} + \frac{\partial f^T(x, w, t)}{\partial w} \lambda(t) &= 0, \end{aligned}$$

that are converted to appearance

$$\begin{aligned} F_0^T \lambda(t_0) - 2\gamma^2 R_0 (x_0 - \hat{x}_0) &= 0, \\ -2\gamma^2 R_w(t)w(t) + F_w^T(t)\lambda(t) &= 0. \end{aligned}$$

From here, we find the relations that satisfy the vectors $w(t)$ and x_0

$$x_0 = \frac{1}{2} \gamma^{-2} R_0^{-1} F_0^T \lambda(t_0) + \hat{x}_0, \tag{35}$$

$$w(t) = \frac{1}{2} \gamma^{-2} R_w^{-1}(t) F_w^T(t) \lambda(t), \tag{36}$$

where the vector function $\lambda(t)$ is the solution of the following system of conjugate equations

$$\begin{cases} \frac{d\lambda(t)}{dt} = -\frac{\partial f^T(x, w, t)}{\partial x} \lambda(t) - \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial x}, \\ \lambda(T) = \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)}. \end{cases}$$

This system, after the transformations, is as follows

$$\begin{cases} \frac{d\lambda(t)}{dt} = -A^T(t)\lambda(t) - 2G_x(t)x(t) - 2\gamma^2 C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)x(t)), \\ \lambda(T) = 2G_f x(T), \end{cases} \tag{37}$$

where $x(t)$ is the solution of the system

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t) + F_w(t)w(t), & t_0 < t < T, \\ x(t_0) = F_0x_0, \end{cases} \tag{38}$$

After substituting (35) and (36) into equation (38), we obtain a two-point boundary value problem

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x(t) \\ \lambda(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A(t) & \frac{1}{2}\gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) \\ -2G_x(t) + 2\gamma^2C^T(t)R(t)C(t) & -A^T(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ \lambda(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B(t)u(t) \\ -2\gamma^2C^T(t)R(t)y(t) \end{pmatrix}, \quad (39)$$

with boundary conditions

$$x(t_0) = \frac{1}{2}\gamma^{-2}F_0R_0^{-1}F_0^T\lambda(t_0) + F_0\bar{x}_0, \quad \lambda(T) = 2G_f x(T). \quad (40)$$

The following formulas were used to obtain equations (35), (36) and system (37)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x_0} &= -2\gamma^2 R_0(x_0 - \bar{x}_0), \quad \frac{\partial \varphi(x_0, x(T))}{\partial x(T)} = 2G_f x(T), \\ \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial x} &= 2G_x x - 2\gamma^2(C^T RCx - C^T Ry), \quad \frac{\partial g(x, w, t)}{\partial w} = -2\gamma^2 R_w w, \\ \frac{\partial}{\partial x} f^T(x, w, t)\lambda &= A^T \lambda, \quad \frac{\partial}{\partial w} f^T(x, w, t)\lambda = F_w^T \lambda, \quad \frac{\partial}{\partial x_0} h^T(x_0)\lambda(t_0) = F_0^T \lambda(t_0). \end{aligned}$$

Since boundary-value problem (39) is linear, we can assume that the solution can be represented as

$$x(t) = \bar{x}(t) + \frac{1}{2}\gamma^{-2}P(t)\lambda(t), \quad (41)$$

where $\bar{x}(t)$ and $P(t)$ are the unknown vector and matrix to be determined.

Differentiating (41) and using the conjugate system (37), we obtain

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\gamma^{-2} \left[\dot{P}(t) - PA^T - \gamma^{-2}PG_xP + PC^T RCP - AP - F_w R_w^{-1} F_w^T \right] \lambda + \\ + \left[-\gamma^{-2}PG_x\bar{x} + PC^T RC\bar{x} - PC^T Ry + \dot{\bar{x}} - A\bar{x} - Bu \right] = 0 \end{aligned} \quad (42)$$

If put

$$\dot{P} = AP + PA^T - P(C^T RC - \gamma^{-2}G_x)P + F_w R_w^{-1} F_w^T, \quad (43)$$

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + Bu + \gamma^{-2}PG_x\bar{x} + PC^T R(y - C\bar{x}), \quad (44)$$

then (42) becomes an identity.

We now find the initial conditions for equations (43) and (44). To do this, substitute in (41) $t = t_0$ and obtain an expression for the initial conditions

$$x(t_0) = \bar{x}(t_0) + \frac{1}{2}\gamma^{-2}P(t_0)\lambda(t_0).$$

Given (35) and the initial conditions (37), the latter relation is transformed to the form

$$F_0\bar{x}_0 + \frac{1}{2}\gamma^{-2}F_0R_0^{-1}F_0^T\lambda(t_0) = \bar{x}(t_0) + \frac{1}{2}\gamma^{-2}P(t_0)\lambda(t_0),$$

where will we get it from

$$P(t_0) = F_0 R_0^{-1} F_0^T, \quad \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0.$$

Thus, to determine $P(t)$ and $\hat{x}(t)$ obtain the following equations

$$\begin{cases} \dot{P} = AP + PA^T - P(C^T RC - \gamma^{-2} G_x)P + F_w R_w^{-1} F_w^T, \\ P(t_0) = F_0 R_0^{-1} F_0^T, \end{cases} \quad (45)$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + \gamma^{-2} P G_x \hat{x} + PC^T R(y - C\hat{x}), \\ \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0. \end{cases} \quad (46)$$

Next, replace the variables

$$\mu(t) = \frac{1}{2} \gamma^{-2} \lambda(t)$$

and represent the optimal vectors x_0 and $w(t)$ in the form

$$x_0 = R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \hat{x}_0, \quad (47)$$

$$w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) \mu(t), \quad (48)$$

where $\mu(t)$ is the solution of the following system of equations

$$\begin{cases} \frac{d\mu(t)}{dt} = -A^T(t)\mu(t) - \gamma^{-2} G_x(t)x(t) - C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)x(t)), \\ \mu(T) = \gamma^{-2} G_f x(T). \end{cases} \quad (49)$$

Let us now transform system (49) to a form that depends not on state $x(t)$ but on $\hat{x}(t)$. Taking into account that

$$x(t) = \hat{x}(t) + P(t)\mu(t), \quad (50)$$

we transform the initial conditions for system (49) as follows

$$\mu(T) = \gamma^{-2} G_f (\hat{x}(T) + P(T)\mu(T)),$$

where from

$$\mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T).$$

Then the system (49) itself takes the form

$$\begin{aligned} \frac{d\mu(t)}{dt} = & \left(-A^T(t) - \gamma^{-2} G_x(t)P(t) + C^T(t)R(t)C(t)P(t) \right) \mu(t) - \gamma^{-2} G_x(t)\hat{x}(t) - \\ & - C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)). \end{aligned}$$

As a result, we get

$$\begin{cases} \frac{d\mu(t)}{dt} = \left(-A^T(t) - \gamma^{-2} G_x(t)P(t) + C^T(t)R(t)C(t)P(t) \right) \mu(t) - \\ \quad - \gamma^{-2} G_x(t)\hat{x}(t) - C^T(t)R(t)(y(t) - C(t)\hat{x}(t)), \\ \mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T). \end{cases} \quad (51)$$

Note that system (51) will be used in further transformations.

We now use the necessary conditions of optimality of the second kind. To do this, we find the second variation of the functional (34)

$$\delta^2 L(u, w, x_0) = -2\gamma^2 \delta x_0^T R_0 \delta x_0 + 2\delta x^T(T) G_f \delta x(T) + 2 \int_{t_0}^T \left\{ \delta x^T(t) \left(G_x(t) - \gamma^2 C^T(t) R(t) C(t) \right) \delta x(t) - \gamma^2 \delta w^T(t) R_w(t) \delta w(t) \right\} dt, \quad (52)$$

where $\delta x(t)$ is the solution of the equation in variations

$$\begin{cases} \dot{\delta x}(t) = A(t)\delta x(t) + F_w(t)\delta w(t), \\ \delta x(t_0) = F_0 \delta x_0. \end{cases} \quad (53)$$

Let us transform the relation (52). Add to the expression $\delta^2 L(u, w, x_0)$ that is equal to zero

$$-2\gamma^2 \left[\delta x^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t) \Big|_{t_0}^T - \int_{t_0}^T \frac{d}{dt} \left(\delta x^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t) \right) dt \right] = 0.$$

Then we get

$$\begin{aligned} \delta^2 L(u, w, x_0) &= -2\gamma^2 \delta x_0^T R_0 \delta x_0 + 2\delta x^T(T) G_f \delta x(T) + \\ &+ 2 \int_{t_0}^T \left\{ \delta x^T(t) \left(G_x(t) - \gamma^2 C^T(t) R(t) C(t) \right) \delta x(t) - \gamma^2 \delta w^T(t) R_w(t) \delta w(t) \right\} dt - \\ &- 2\gamma^2 \delta x^T(T) P^{-1}(T) \delta x(T) + 2\gamma^2 \delta x^T(t_0) P^{-1}(t_0) \delta x(t_0) + 2\gamma^2 \int_{t_0}^T \left\{ \left(\delta x^T(t) A^T(t) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \delta w^T(t) F_w^T(t) \right) P^{-1}(t) \delta x(t) + \delta x^T(t) P^{-1}(t) \left(A(t) \delta x(t) + F_w(t) \delta w(t) \right) - \right. \\ &\left. - \delta x^T(t) P^{-1}(t) \left(AP + PA^T - P \left(C^T RC - \gamma^2 G_x \right) P + F_w R_w^{-1} F_w^T \right) P^{-1}(t) \delta x(t) \right\} dt = \\ &= 2\gamma^2 \delta x_0^T \left[F_0^T \left(F_0 R_0^{-1} F_0^T \right)^{-1} F_0 - R_0 \right] \delta x_0 + 2\delta x^T(T) \left[G_f - \gamma^2 P^{-1}(T) \right] \delta x(T) - \\ &- 2\gamma^2 \int_{t_0}^T \left\{ \left(\delta w(t) - R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t) \right)^T \times \right. \\ &\quad \left. \times R_w(t) \left(\delta w(t) - R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t) \right) \right\} dt. \end{aligned} \quad (54)$$

Note that the matrix equation was used in these transformations

$$\frac{dP^{-1}(t)}{dt} = -P^{-1}(t) \frac{dP(t)}{dt} P^{-1}(t).$$

From the last equation it follows

$$\left(R_0 - F_0^T \left(F_0 R_0^{-1} F_0^T \right)^{-1} F_0 \right) \delta x_0 = 0. \quad (55)$$

And from (48) and (50) it turns out

$$w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) (x(t) - \hat{x}(t)),$$

where from

$$\delta w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) P^{-1}(t) \delta x(t). \quad (56)$$

Given (55) and (56), the second variation of the functional will take the form

$$\delta^2 L(u, w, x_0) = 2\delta x^T(T) \left[G_f - \gamma^2 P^{-1}(T) \right] \delta x(T).$$

If the matrix $G_f - \gamma^2 P^{-1}(T)$ is negatively defined, that is

$$G_f - \gamma^2 P^{-1}(T) < 0, \tag{57}$$

then $\delta^2 L(u, w, x_0) < 0$, and hence, the quantities x_0 and $w(t)$ determined by relations (47), (48) satisfy not only the necessary but also sufficient conditions of the extrema of the functional $L(u, w, x_0)$, that is, the pair $(x_0, w(t))$ maximizes the functional $L(u, w, x_0)$, and hence the functional $J(u, v, w, x_0)$ under fixed control u and perturbation v .

We now find the value of the functional $J_0(u, v) = J(u, v, w, x_0)$ at the extremals $(x_0, w(t))$, that is, at optimal values of x_0 and $w(t)$

$$J_0(u, v) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(t_0)F_0 R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \int_{t_0}^T \left\{ x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 \mu^T(t)F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) - \gamma^2 (y(t) - C(t)x(t))^T R(t)(y(t) - C(t)x(t)) \right\} dt$$

Adding to this expression a null value

$$-\gamma^2 \left[\mu^T(t)P(t)\mu(t) \Big|_{t_0}^T - \int_{t_0}^T \frac{d}{dt} (\mu^T(t)P(t)\mu(t)) dt \right] = 0,$$

obsessed

$$J_0(u, v) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(t_0)F_0 R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \int_{t_0}^T \left\{ x^T(t)G_x(t)x(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \gamma^2 \mu^T(t)F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) - \gamma^2 (y(t) - C(t)x(t))^T R(t)(y(t) - C(t)x(t)) \right\} dt - \gamma^2 \mu^T(T)P(T)\mu(T) + \gamma^2 \mu^T(t_0)P(t_0)\mu(t_0) + \int_{t_0}^T \left\{ \begin{aligned} &(-A^T(t)\mu(t) - \gamma^2 G_x(t)x(t) + C^T(t)R(t)(C(t)x(t) - y(t)))^T P(t)\mu(t) + \\ &+ \mu^T(t)P(t)(-A^T(t)\mu(t) - \gamma^2 G_x(t)x(t) + C^T(t)R(t)(C(t)x(t) - y(t))) + \\ &+ \mu^T(t)(A(t)P(t) + P(t)A^T(t) - P(t)(C^T(t)R(t)C(t) - \gamma^2 G_x(t))P(t) + \\ &+ F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t))\mu(t) \end{aligned} \right\} dt.$$

And after a series of further transformations we come to the expression

$$J_0(u, v) = x^T(T)G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(T)P(T)\mu(T) + \int_{t_0}^T \left\{ \begin{aligned} &\tilde{x}^T(t)G_x(t)\tilde{x}(t) + u^T(t)G_u(t)u(t) - \\ &-\gamma^2 (y(t) - C(t)\tilde{x}(t))^T R(t)(y(t) - C(t)\tilde{x}(t)) \end{aligned} \right\} dt. \tag{58}$$

Taking into account that

$$\mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \tilde{x}(T),$$

we will find $x(T)$

$$x(T) = P(T)\mu(T) + \hat{x}(T) = \left[E + P(T)(\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \right] \hat{x}(T) = \\ = (E - \gamma^{-2} P(T) G_f)^{-1} \hat{x}(T)$$

Then you can get the same

$$x^T(T) G_f x(T) - \gamma^2 \mu^T(T) P(T) \mu(T) = \hat{x}^T(T) \left[(E - \gamma^{-2} G_f P(T))^{-1} G_f \times \right. \\ \left. \times (E - \gamma^{-2} P(T) G_f)^{-1} - \gamma^2 G_f (\gamma^2 E - P(T) G_f)^{-1} P(T) (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \right] \hat{x}(T) = \\ = \hat{x}^T(T) (G_f^{-1} - \gamma^{-2} P(T))^{-1} \left[G_f^{-1} (G_f^{-1} - \gamma^{-2} P(T))^{-1} - \gamma^{-2} P(T) (G_f^{-1} - \gamma^{-2} P(T))^{-1} \right] \times \\ \times \hat{x}(T) = \hat{x}^T(T) (G_f^{-1} - \gamma^{-2} P(T))^{-1} \hat{x}(T).$$

Substituting the last expression into the functional (58) and making substitutions for the variables

$$\hat{v}(t) = y(t) - C(t)\hat{x}(t), \quad (59)$$

$$S_T = (G_f^{-1} - \gamma^{-2} P(T))^{-1}, \quad (60)$$

finally convert the functionality to appearance

$$J_0(u, \hat{v}) = \hat{x}^T(T) S_T \hat{x}(T) + \\ + \int_{t_0}^T \left\{ \hat{x}^T(t) G_x(t) \hat{x}(t) + u^T(t) G_u(t) u(t) - \gamma^2 \hat{v}^T(t) R(t) \hat{v}(t) \right\} dt \quad (61)$$

Now we have to solve the minimax problem

$$\min_u \max_{\hat{v}} J_0(u, \hat{v}) \quad (62)$$

provided that $\hat{x}(t)$ satisfies the system

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A_\gamma(t)\hat{x}(t) + B(t)u(t) + Q_v(t)\hat{v}(t), \\ \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0. \end{cases} \quad (63)$$

where

$$A_\gamma(t) = A(t) + \gamma^{-2} P(t) G_x(t), \quad Q_v(t) = P(t) C^T(t) R(t). \quad (64)$$

To solve this problem, we use the results of the theory of linear-quadratic differential games.

Linear quadratic differential game problem of two people.

Consider the system

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B_1(t)u_1(t) + B_2(t)u_2(t), \\ x(t_0) = x_0, \end{cases}$$

with criterion

$$J(u_1, u_2) = x^T(T) Q_f x(T) + \int_{t_0}^T \left\{ x^T(t) Q(t) x(t) + u_1^T(t) R_1(t) u_1(t) - u_2^T(t) R_2(t) u_2(t) \right\} dt,$$

where $x(t)$ — system status, $u_1(t)$, $u_2(t)$ — control functions.

System-forming matrices and criterion weight matrices are known.

You need to find controls $u_1(t)$ and $u_2(t)$ by condition

$$\min_{u_1} \max_{u_2} J(u_1, u_2).$$

The following result was obtained above: the optimal control strategy is determined by the functions of the species

$$u_1(t) = -R_1^{-1}(t)B_1^T(t)K(t)x(t), \quad u_2(t) = R_2^{-1}(t)B_2^T(t)K(t)x(t),$$

where $K(t)$ is the solution of the matrix differential equation

$$\begin{cases} \frac{dK(t)}{dt} = -A^T(t)K(t) - K(t)A(t) + K(t)(S_1(t) - S_2(t))K(t) - Q(t), \\ K(T) = Q_f, \end{cases}$$

in which

$$S_i(t) = B_i(t)R_i^{-1}(t)B_i^T(t), \quad i = 1, 2.$$

The minimum value of the criterion is equal

$$\min_{u_1} \max_{u_2} J(u_1, u_2) = x_0^T K(t_0) x_0.$$

Applying this result to problem (61) — (64), we get its solution in the form

$$u(t) = -G_u^{-1}(t)B^T(t)S(t)\hat{x}(t), \tag{65}$$

$$\hat{v}(t) = \gamma^{-2}R^{-1}(t)Q_v^T(t)S(t)\hat{x}(t) = \gamma^{-2}C(t)P(t)S(t)\hat{x}(t), \tag{66}$$

$$J_0(u, \hat{v}) = \hat{x}_0^T F_0^T S(t_0) F_0 \hat{x}_0, \tag{67}$$

where $S(t)$ is the solution of the matrix differential equation of the form

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -A_\gamma^T(t)S(t) - S(t)A_\gamma(t) - G_x(t) + \\ \quad + S(t)(B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}Q_v(t)R^{-1}(t)Q_v^T(t))S(t), \\ S(T) = S_T, \end{cases} \tag{68}$$

Substituting (65), (66) into (46) and (51), we obtain

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = (A(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t))\hat{x}(t) - \\ \quad - (B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}P(t)C^T(t)R(t)C(t)P(t))S(t)\hat{x}(t), \\ \hat{x}(t_0) = F_0\hat{x}_0. \end{cases} \tag{69}$$

$$\begin{cases} \frac{d\mu(t)}{dt} = -(A(t) + \gamma^{-2}P(t)G_x(t))^T \mu(t) + C^T(t)R(t)C(t)P(t) \times \\ \quad \times (\mu(t) - \gamma^{-2}S(t)\hat{x}(t)) - \gamma^{-2}G_x(t)\hat{x}(t), \\ \mu(T) = (\gamma^2 E - G_f P(T))^{-1} G_f \hat{x}(T) = \gamma^{-2} S_T \hat{x}(T). \end{cases} \tag{70}$$

We now denote the right-hand side of the second equation of system (70) as

$$\eta(t) = \gamma^{-2} S(t) \bar{x}(t)$$

and find an equation that satisfies $\eta(t)$. Using (68) and (69), we can show that

$$\begin{cases} \frac{d\eta(t)}{dt} = \gamma^{-2} \left(\frac{dS(t)}{dt} \bar{x}(t) + S(t) \frac{d\bar{x}(t)}{dt} \right) = \\ = - \left(A(t) + \gamma^{-2} P(t) G_x(t) \right)^T \eta(t) - \gamma^{-2} G_x(t) \bar{x}(t), \\ \eta(T) = \gamma^{-2} S_T \bar{x}(T) \end{cases} \quad (71)$$

Comparing equations (70) and (71), we conclude that $\mu(t) = \eta(t)$, $t \in [t_0, T]$ from where it follows

$$\mu(t) = \gamma^{-2} S(t) \bar{x}(t). \quad (72)$$

Now let us substitute $u(t)$ and $\mu(t)$ from the formulas (65) and (72) into equation (39). Then, given the relation (50), we have

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)\mu(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t)S(t)\bar{x}(t) = \\ = A(t)x(t) + \left(\gamma^{-2} F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) \right) S(t)\bar{x}(t), \\ x(t_0) = \bar{x}(t_0) + \gamma^{-2} P(t_0)S(t_0)\bar{x}(t_0) = \left(E + \gamma^{-2} P(t_0)S(t_0) \right) \bar{x}(t_0). \end{cases} \quad (73)$$

Let us denote

$$h(t) = \left(E + \gamma^{-2} P(t)S(t) \right) \bar{x}(t).$$

And then, taking into account equations (45), (68), (69), it can be shown that

$$\begin{cases} \frac{dh(t)}{dt} = A(t)h(t) + \left(\gamma^{-2} F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) \right) S(t)\bar{x}(t), \\ h(t_0) = \left(E + \gamma^{-2} P(t_0)S(t_0) \right) \bar{x}(t_0). \end{cases} \quad (74)$$

Comparing systems (73) and (74), we conclude that, $x(t) = h(t)$, $t \in [t_0, T]$, and

$$x(t) = \left(E + \gamma^{-2} P(t)S(t) \right) \bar{x}(t). \quad (75)$$

We now find the optimum value for perturbation in the measurement channel. Given the observation equation (2) and the relation (59), (66), (75), we obtain

$$\begin{aligned} v(t) &= F_v^{-1}(t) \left(y(t) - C(t)x(t) \right) = F_v^{-1}(t) \left(\hat{v}(t) + C(t)\bar{x}(t) - C(t)x(t) \right) = \\ &= F_v^{-1}(t) \left(\gamma^{-2} C(t)P(t)S(t)\bar{x}(t) + C(t) \left(\bar{x}(t) - \left(E + \gamma^{-2} P(t)S(t) \right) \bar{x}(t) \right) \right) = 0. \end{aligned} \quad (76)$$

Thus, optimum perturbation is $v(t) = 0$.

Given the relation (72), we also transform the optimal perturbations x_0 and $w(t)$ determined by formulas (47) and (48)

$$x_0 = R_0^{-1} F_0^T \mu(t_0) + \hat{x}_0 = \gamma^{-2} R_0^{-1} F_0^T S(t_0) F_0 \hat{x}_0 + \hat{x}_0 = \left(E + \gamma^{-2} R_0^{-1} F_0^T S(t_0) F_0 \right) \hat{x}_0, \quad (77)$$

$$w(t) = R_w^{-1}(t) F_w^T(t) \mu(t) = \gamma^{-2} R_w^{-1}(t) F_w^T(t) S(t) \bar{x}(t). \quad (78)$$

The ratios that determine the optimal solution to the H^∞ -control problem use the matrix, which is the solution of equation (68). This equation can be solved by knowing the matrix $P(t)$, which in turn is the solution of another matrix differential equation (45), that is, the matrix $S(t)$ is dependent on the matrix $P(t)$. In order to break this dependence, we introduce the following matrix

$$Q(t) = S(t) \left(E + \gamma^{-2} P(t) S(t) \right)^{-1} = \left(E + \gamma^{-2} S(t) P(t) \right)^{-1} S(t) = \left(S^{-1}(t) + \gamma^{-2} P(t) \right)^{-1}. \quad (79)$$

Given that $P(t)$ — the solution of equation (45) and $S(t)$ — satisfies equation (68), we can show that $Q(t)$ satisfies the matrix differential equation of the form

$$\begin{cases} \frac{dQ(t)}{dt} = -A^T(t)Q(t) - Q(t)A(t) - G_x(t) + \\ \quad + Q(t) \left(B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) \right) Q(t), \\ Q(T) = G_f, \end{cases} \quad (80)$$

It is also easy to show that the condition of boundedness of solutions (matrices) $P(t)$ and $S(t)$ and matrix differential equations (45) and (68)

$$G_f - \gamma^2 P^{-1}(T) < 0$$

is equivalent to this condition

$$E - \gamma^{-2} Q(t) P(t) > 0, \quad t \in [t_0, T]. \quad (81)$$

Now we express from (79) the matrix $S(t)$ through $Q(t)$

$$\begin{aligned} S(t) &= \left(E - \gamma^{-2} Q(t) P(t) \right)^{-1} Q(t) = Q(t) \left(E - \gamma^{-2} P(t) Q(t) \right)^{-1} = \\ &= \left(Q^{-1}(t) - \gamma^{-2} P(t) \right)^{-1}. \end{aligned} \quad (82)$$

Then the solution to the problem H^∞ -control can finally be represented as follows

$$u(t) = -G_u^{-1}(t) B^T(t) Q(t) \left(E - \gamma^{-2} P(t) Q(t) \right)^{-1} \hat{x}(t), \quad (83)$$

where the member $\hat{x}(t)$ is the solution to the next system

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}(t)}{dt} = A(t)\hat{x}(t) + B(t)u(t) + \gamma^{-2} P(t) G_x(t) \hat{x}(t) + \\ \quad + P(t) C^T(t) R(t) (y(t) - C(t)\hat{x}(t)), \\ \hat{x}(t_0) = F_0 \hat{x}_0. \end{cases} \quad (84)$$

And in turn, the member $R(t)$ is, respectively

$$R(t) = (F_v^{-1}(t))^T R_v(t) F_v^{-1}(t).$$

The matrices $P(t)$ and $Q(t)$ satisfy the following Riccati-type matrix equations

$$\begin{cases} \frac{dP(t)}{dt} = A(t)P(t) + P(t)A^T(t) + F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t) - \\ \quad - P(t)(C^T(t)R(t)C(t) - \gamma^{-2}G_x(t))P(t), \\ P(t_0) = F_0R_0^{-1}F_0^T, \end{cases} \quad (85)$$

$$\begin{cases} \frac{dQ(t)}{dt} = -A^T(t)Q(t) - Q(t)A(t) - G_x(t) + \\ \quad + Q(t)(B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t) - \gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t))Q(t), \\ Q(T) = G_f, \end{cases} \quad (86)$$

Optimal H^∞ -control corresponds to the minimum value γ_{\min}^2 of the parameter γ^2 , under which condition (inequality) is satisfied

$$E - \gamma^{-2}Q(t)P(t) > 0, \quad t \in [t_0, T], \quad (87)$$

where symmetric positive definite matrices $P(t)$ and $Q(t)$ satisfy, respectively, systems (85) and (86).

We emphasize that systems (85) and (86) are being resolved independently in the forward and reverse times. However, the parameter γ^2 cannot be selected arbitrarily. It must satisfy the condition $\gamma^2 > \gamma_{\min}^2$. Otherwise, the matrices $P(t)$ and $Q(t)$ become unbounded. Note that the values γ_{\min}^2 can be found numerically, for example, by the method of half division of a segment.

Note also that this γ_{\min}^2 is the minimum value of criterion (3) for the most adverse disturbances acting on the system and in the observation channel. In this case, the worst perturbations are determined by the ratios

$$x_0 = (E - \gamma^{-2}R_0^{-1}F_0^T Q(t_0)F_0)^{-1} \hat{x}_0, \quad (88)$$

$$w(t) = \gamma^{-2}R_w^{-1}(t)F_w^T(t)(E - \gamma^{-2}Q(t)P(t))^{-1} Q(t)\hat{x}(t), \quad v(t) = 0. \quad (89)$$

Note.

Using coordinate conversion

$$x_c(t) = (E - \gamma^{-2}P(t)Q(t))^{-1} \hat{x}(t) \quad (90)$$

optimal H^∞ -control can be represented as

$$u(t) = -G_u^{-1}(t)B^T(t)Q(t)x_c(t), \quad (91)$$

where $x_c(t)$ is the output of the compensator

$$\begin{cases} \frac{dx_c(t)}{dt} = Ax_c(t) + Bu(t) + \gamma^{-2}F_w R_w^{-1} F_w^T Qx_c(t) + \\ \quad + (E - \gamma^{-2}PQ)^{-1} PC^T R(y(t) - Cx_c(t)), \\ x_c(t_0) = (E - \gamma^{-2}F_0 R_0^{-1} F_0^T Q(t_0))^{-1} F_0 \bar{x}_0, \end{cases} \quad (92)$$

or

$$\begin{cases} \frac{dx_c(t)}{dt} = A_c(t)x_c(t) + B_c(t)y(t), \\ x_c(t_0) = x_c^0, \end{cases} \quad (93)$$

in which is indicated

$$A_c(t) = A(t) - B(t)G_u^{-1}(t)B^T(t)Q(t) + \gamma^{-2}F_w(t)R_w^{-1}(t)F_w^T(t)Q(t) - \\ - (E - \gamma^{-2}P(t)Q(t))^{-1} P(t)C^T(t)R(t)C(t), \quad (94)$$

$$B_c(t) = (E - \gamma^{-2}P(t)Q(t))^{-1} P(t)C^T(t)R(t), \quad (95)$$

$$x_c^0 = (E - \gamma^{-2}F_0 R_0^{-1} F_0^T Q(t_0))^{-1} F_0 \bar{x}_0. \quad (96)$$

In this case, the worst perturbations acting on the system are determined by the ratio

$$w(t) = \gamma^{-2}R_w^{-1}(t)F_w^T(t)Q(t)x_c(t). \quad (97)$$

Let us now consider the case of solving the problem of a stationary system (1) at an infinite time interval.

H^∞ -optimal control of linear stationary systems at infinite adjustment time.

Consider a stationary system (1)

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + F_w w(t), & t_0 < t < \infty, \\ x(t_0) = F_0 x_0, \end{cases} \quad (98)$$

in the equation of observation

$$y(t) = Cx(t) + F_v v(t), \quad (99)$$

and quality criteria

$$I(u) = \int_{t_0}^{\infty} (x^T(t)G_x x(t) + u^T(t)G_u u(t)) dt, \quad (100)$$

With respect to the unknown vector of external perturbations $w(t)$, the vector of measurement errors $v(t)$ and the vector of initial conditions x_0 , it is assumed that they belong to the following set of permissible perturbations (uncertainties)

$$\Omega_\xi = \left\{ \begin{array}{l} \xi: \xi = (w(t), v(t), x_0), w(t) \in L_2(t_0, \infty), \\ v(t) \in L_2(t_0, \infty), x_0 \in R^{n_0}; \|\xi\|^2 \leq 1 \end{array} \right\}, \quad (101)$$

where the norm $\|\xi\|$ of a vector-valued function is defined by the following expression

$$\|\xi\|^2 = \int_{t_0}^{\infty} \left(w^T(t) R_w w(t) + v^T(t) R_v v(t) \right) dt + (x_0 - \hat{x}_0)^T R_0 (x_0 - \hat{x}_0). \quad (102)$$

Then, the H^∞ -optimal solution to the problem of minimax control

$$\inf_u \sup_{\xi \in \Omega_\xi} I(u) = \gamma_{\min}^2, \quad (103)$$

presentable in the form

$$u(t) = -G_u^{-1} B^T Q x_c(t), \quad (104)$$

where $x_c(t)$ is the output of the compensator

$$\begin{cases} \frac{dx_c(t)}{dt} = A_c x_c(t) + B_c y(t), \\ x_c(t_0) = x_c^0, \end{cases} \quad (105)$$

in which is indicated

$$A_c = A - B G_u^{-1} B^T Q + \gamma^{-2} F_w R_w^{-1} F_w^T Q - (E - \gamma^{-2} P Q)^{-1} P C^T R C, \quad (106)$$

$$B_c = (E - \gamma^{-2} P Q)^{-1} P C^T R, \quad (107)$$

$$x_c^0 = (E - \gamma^{-2} F_0 R_0^{-1} F_0^T Q(t_0))^{-1} F_0 \hat{x}_0, \quad R = (F_v^{-1})^T R_v F_v^{-1}. \quad (108)$$

Matrices $P = P^T > 0$ and $Q = Q^T > 0$ are the solutions of the following matrix algebraic Rikatti equations

$$AP + PA^T - P(C^T R C - \gamma^{-2} G_x)P + F_w R_w^{-1} F_w^T = 0, \quad (109)$$

$$-A^T Q - Q A + Q(B G_u^{-1} B^T - \gamma^{-2} F_w R_w^{-1} F_w^T)Q - G_x = 0, \quad (110)$$

in which the parameter γ^2 must satisfy the condition

$$E - \gamma^{-2} Q P > 0. \quad (111)$$

The minimum value γ_{\min}^2 of the parameter γ^2 under which condition (111) is satisfied corresponds to optimal control.

The worst (most unfavorable) perturbations are thus given by formulas

$$w(t) = \gamma^{-2} R_w^{-1} F_w^T Q x_c(t), \quad v(t) = 0, \quad x_0 = (E - \gamma^{-2} R_0^{-1} F_0^T Q F_0)^{-1} \hat{x}_0. \quad (112)$$

The state vector estimate $\hat{x}(t)$ can be found by the formula

$$\hat{x}(t) = (E - \gamma^{-2} P Q) x_c(t). \quad (113)$$

Conclusions

Automatic control theory is moving towards complicating the phenomena under study, processes and reducing information about the control system, the object, its features, properties, characteristics, conditions of operation, uncertainties and external influences. Considering all of the above, the chosen area of research is promising and has a high level of relevance.

Thus, the purpose of the article, declared at the beginning of the work, is achieved, the proposed solution of the problem of finding the optimal control as an output

feedback, which minimizes the integral-quadratic criterion of operation in the conditions of uncertainty in the most unfavorable perturbations. The results of the studies are presented in the form of practical formulas, according to which the corresponding calculations are acceptable when modeling the control processes in the considered linear dynamic non-stationary object with uncertainties.

References

1. Баландин Д. В., Коган М. М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. М.: Физматлит, 2007. 281 с.
2. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2004. 560 с.
3. Поляк Б. Т., Хлебников М. В. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств. М.: ЛЕНАНД, 2014. 560 с.
4. Якубович В. А. Решение некоторых матричных неравенств, встречающихся в теории автоматического регулирования. *ДАН СССР*. 1962. Т. 143, № 6. С. 1304—1307.
5. Boyd S., El Ghaoui L., Feron E., Balakrishnan V. *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia: SIAM, 1994. 193 p.
6. Chilali M., Gahinet P. H^∞ design with pole placement constraints: An LMI approach. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 1996. Vol.41. P. 358—367.
7. Ghaoui L. E., Niculescu S. I. *Advances in linear matrix inequality methods in control*. Advances in Design and Control. Philadelphia, PA: SIAM, 2000. 372 p.
8. Masubuchi I., Ohara A., Suda N. LMI-based controller synthesis: A unified formulation and solution. *Int. J. Robust Nonlinear Contr.* 1998. Vol. 8. P. 669—686.
9. Лобок О. П., Гончаренко Б. М. Мінімаксне управління в лінійних динамічних системах із розподіленими параметрами. *Наукові праці НУХТ*. 2015. Том 21, № 6. С.16—26.
10. Кириченко Н. Ф. Мінімаксное управление и оценивание в динамических системах. *Автоматика и телемеханика*. 1982. № 1. С. 32—39.
11. Лобок А. П. Мінімаксные регуляторы в системах с распределенными параметрами. *Вестник Киевского университета. Моделирование и оптимизация сложных систем*. 1983. Вып. 2. С. 62—67.
12. Васильев Ф. П. Методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1981. 400 с.

ACCESS REFACTORING CATEGORY

V. Struzik, S. Hrybkov, V. Chobanu

National University of Food Technologies

Key words:

Microservices
Service-oriented
architecture
Refactoring
Access refactoring
category
Monolith
Databases

Article history:

Received 09.03.2020
Received in revised form
23.03.2020
Accepted 06.04.2020

Corresponding author:

V. Struzik

E-mail:

struzik.vladislav@
gmail.com

ABSTRACT

The advantages and disadvantages of monolithic and micro-service architecture patterns are investigated in the article, as well as the conditions of the feasibility of their usage in the development of corporate information systems. These architectural patterns are the most common. Different options for interacting with databases are also considered separately.

The software has frequent changes due to the high dynamics of development of the modern world on operate phase. The software must constantly meet business requirements. This leads to increase in complexity of the code and, as a consequence, support for the software as a whole. Software developers apply for one of the techniques of extreme programming, refactoring, to reduce “technical debt” and improve the operating process. The authors of the article focus on the research of database refactoring.

Six existing categories of database refactoring are described in the article. The development of a new category of database refactoring, namely the category of access refactoring, is an important part of this article. Operations of the category are described and recommendations for their use are provided. The newly created category accumulates changes in the database management system associated with access to the data, such as operations associated with changes to the location of the database object, operations associated with changes to the attributes of user authentication, operations associated with changes of user authorization rights. Authors described the feasibility of using access refactoring category for migration between architectural patterns and when security policy events occur.

КАТЕГОРІЯ РЕФАКТОРИНГ ДОСТУПУ

В. А. Струзік, С. В. Грибков, В. В. Чобану

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено переваги та недоліки монолітного та мікросервісного шаблонів архітектури, а також умови доцільності їх використання в розробці корпоративних інформаційних систем. Ці шаблони архітектури є найбільш розповсюдженими. Також окремо розглянуто різні варіанти взаємодії сервісів з базами даних.

Під час експлуатації програмний продукт піддається частим змінам через високу динаміку розвитку сучасного світу, а сам продукт має постійно відповідати бізнес-вимогам. Це призводить до зростання складності програмного коду і, як наслідок, підтримки програмного забезпечення загалом. Задля зменшення «технічного боргу» та поліпшення процесу експлуатації розробники програмного забезпечення звертаються до одного з прийомів методології екстремального програмування — рефакторингу. Автори статті наголошують саме на дослідженні рефакторингу баз даних.

Наведено шість існуючих категорій рефакторингу баз даних, а також подано їхній загальний опис. Важливою частиною є розробка нової категорії рефакторингу баз даних, зокрема категорії рефакторинг доступу. Описано операції цієї категорії та надано рекомендації щодо їх використання. Новостворена категорія акумулює в собі зміни в системі управління базою даних, що пов'язані з доступом до даних, тобто операції, пов'язані зі змінами розташування об'єкта бази даних, атрибутів аутентифікації користувача, авторизаційних прав користувача. Підкреслено доцільність використання певних операцій рефакторингу доступу при переході між шаблонами архітектури та при виникненні подій, що пов'язані з політикою безпеки.

Ключові слова: *мікросервіси, сервіс-орієнтована архітектура, рефакторинг, рефакторинг доступу, моноліт, бази даних.*

Постановка проблеми. На сьогодні створено шість категорій рефакторингу баз даних, проте жодна з них не описує зміни в системі управління базою даних, що пов'язані з доступом до цих даних. Доцільно доповнити класифікацію категорій рефакторингу баз даних додавши нову категорію — рефакторинг доступу, та описати операції, які вона включає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автори фундаментальної праці [10] описали шість категорій рефакторингу баз даних, серед яких: категорія рефакторинг структури; категорія рефакторинг якості даних; категорія рефакторинг посилальної цілісності; категорія рефакторинг архітектури; категорія рефакторинг методів; зміни, що не входять до операцій рефакторингу.

Проте жодна з описаних категорій не передбачає операції, пов'язані з доступом до даних.

Мета статті: створення категорії рефакторинг доступу, що акумулює в собі зміни в системі управління базою даних, пов'язані з доступом до цих даних.

Викладення основних результатів дослідження. *Корпоративні системи та їх особливості.* Усі сучасні компанії інтенсивно розвиваються, що вимагає постійної систематизації інформації й автоматизації всіх бізнес-процесів. На ранніх етапах автоматизацію бізнес-процесів компанії можливо забезпечити за рахунок використання стандартних офісних додатків, проте з часом обсяги інформації зростають і досягають таких об'ємів, що виникає потреба у створенні та використанні корпоративних інформаційних систем.

Такі системи об'єднують технічні й програмні засоби для роботи зі стратегічною й оперативною інформацією компанії, а також реалізують ідеї та методи автоматизації всіх бізнес-функцій управління. Корпоративні системи мають складну ієрархічну структуру, функціонують у розподіленій обчислювальній мережі та розраховані на використання багатьма користувачами.

Корпоративні системи передбачають підвищені вимоги до надійності функціонування та збереження цілісності даних, що забезпечуються за рахунок механізмів підтримки посилальної цілісності й транзакційної властивості сучасних систем управління базами даних.

Основною характеристикою корпоративної інформаційної системи є можливість збільшення її функціональності — гнучко та оперативно змінювати алгоритми функціонування. При цьому обов'язковою вимогою до таких систем є здатність до інтеграції з іншими програмними продуктами.

Перевагами використання корпоративної інформаційної системи як невід'ємного інструменту керування підприємством є підвищення якості планування за рахунок оперативного та швидкого доступу й обробки даних; зменшення часу на виявлення проблем і можливостей; використання інструментів стратегічного планування, що дає змогу якісно покращити прийняття оперативних і стратегічних рішень; інтеграція з різноманітним програмним забезпеченням для формування єдиного програмного комплексу; покращення координації діяльності співробітників і підрозділів, а також забезпечення їх необхідною й актуальною інформацією; контроль за виконанням поставлених завдань.

Загальні характеристики розподілених систем. На сьогодні майже будь-яка велика інформаційна система є розподіленою, адже обробка інформації виконується на декількох комп'ютерах, а не зосереджена на одній обчислювальній машині. Донедавна більшість систем були централізованими. Такі системи функціонували в рамках однієї обчислювальної машини (мейнфрейму) з підключеними до неї терміналами. Термінали не підтримували інших функцій, крім введення та виведення інформації, а всі основні операції виконувались централізовано на сервері. Виділяють три основні характеристики розподілених систем: прозорість, відкритість і масштабованість. Авторами [1] виділено ще три характеристики: конкурентність, паралельність, відмовостійкість. Але вони є різними типами прозорості розподіленої системи, адже конкурентність і паралельність передбачає прозорість паралельного доступу та виконання, а відмовостійкість — прозорість відмов.

Насамперед варто зазначити, що кожен клієнтський додаток встановлений автономно на певному комп'ютері, проте з точки зору користувача це єдина система. Важливе завдання розподілених систем полягає в тому, щоб приховати той факт, що процеси і ресурси фізично розподілені між комп'ютерами.

Розподілені системи, які представляються користувачам і програмам у вигляді єдиної інформаційної системи, називають прозорими. Існують різні типи прозорості [2]:

- прозорість доступу надає можливість приховати різницю в представленні даних і в способах доступу користувачів до ресурсів;
- прозорість розташування надає можливість приховати від користувача, де саме фізично розташований у системі необхідний йому ресурс;
- прозорість реплікації надає можливість приховати той факт, що існує кілька копій ресурсу;
- прозорість паралельного доступу надає можливість використовувати одночасно один ресурс декільком користувачам без надання їм інформації про його використання іншим користувачем;
- прозорість відмов надає можливість ніколи не повідомляти користувача про відновлення роботи тієї частини системи, яку він не використовує чи не має доступу;
- прозорість збереження маскує реальне (жорсткий диск) або віртуальне (оперативна пам'ять) збереження ресурсів.

Інша важлива характеристика розподілених систем — це відкритість. Відкрита розподілена система — це система з інтерфейсом підключення, звернення до якого має стандартний синтаксис і семантику. Наявність інтерфейсу надає можливість спільної роботи довільного процесу, що має потребу в ньому, з іншим довільним процесом, що його імплементує. Інтерфейс підключення також дає змогу двом незалежним групам розробників створити абсолютно різні реалізації цього інтерфейсу для окремих розподілених систем, тобто надавати послуги за моделлю B2B (англ. business to business — бізнес для бізнесу).

Наступна важлива характеристика відкритих розподілених систем — це гнучкість. Під гнучкістю розуміється легкість конфігурування системи, що складається з різних компонентів. У розподілених системах є можливість додавання до системи нових компонентів або заміна існуючих, можливо від різних виробників, без додаткових труднощів. При цьому компоненти, з якими не проводилося жодних дій, залишаються незмінними.

Значною перевагою розподілених систем є їхня здатність до масштабування, яка вимірюється за трьома різними показниками. По-перше, система може бути масштабована стосовно її розміру, що забезпечує легкість підключення до неї додаткових ресурсів. По-друге, система може бути масштабована географічно, тобто користувачі і ресурси можуть бути розташовані географічно в різних приміщеннях, містах, країнах. По-третє, система може бути масштабована в адміністративному сенсі, тобто бути простою в управлінні при роботі в безлічі адміністративно незалежних організацій. Завдяки цій характерній рисі у випадку, коли виникає необхідність у збільшенні обчислювальних ресурсів, є можливість їх нарощувати, не змінюючи програмну складову системи. Проте на практиці нарощування обмежене мережею, що об'єднує окремі комп'ютери.

Незважаючи на всі переваги розподілених систем порівняно з централізованими системами, вони мають і ряд істотних недоліків. Через те, що розподілені системи складніші за централізовані, набагато важче оцінити їхній

ресурс у цілому, а також тестувати такі системи. Це пов'язано з тим, що продуктивність системи залежить не від швидкості роботи одного процесора, а від пропускної здатності мережі та швидкості роботи різних процесорів.

Серед багатьох проблем основними є безпека, складність адміністрування, обмеження масштабування.

Складність організації захисту полягає в тому, що доступ до системи можна отримати з багатьох різних вузлів мережі, а передані повідомлення можуть бути перехоплені. Тобто дані, що передаються між компонентами, слід захистити як від спотворення, так і від перегляду сторонніми особами. Різновид типів атак, які можуть бути використані до розподілених систем, кількісно більше порівняно з централізованими системами. Додаткова складність при створенні полягає в тому, що алгоритми аутентифікації й авторизації необхідно реалізувати в усіх компонентах розподіленої системи.

Проблеми адміністрування системи включають проблеми балансування навантаження на вузли системи, відновлення даних у разі виникнення відмов. Через розподіленість розміщення ресурсів виникає необхідність створення гнучких засобів адміністрування.

У розподілених системах адміністрування повинно відбуватися постійно, а у зв'язку з їхніми особливостями виникають такі основні проблеми:

- балансування навантаження на вузли системи;
- відновлення даних у разі виникнення помилки;
- моніторинг вузлів системи;
- оновлення програмного забезпечення на вузлах системи в автоматичному режимі.

Виділимо основні проблеми масштабованості розподілених систем. Проблема кількісного збільшення вузлів системи, що не завжди можливе, у зв'язку з обмеженістю служб та алгоритмів, тобто виникнення стану гонитви (англ. race condition, race hazard) [3]. Проблема нестачі обчислювальних ресурсів сервера, який займається агрегуванням даних, що зібрані з вузлів системи в загальне глобальне представлення. Проблема пропускної спроможності комп'ютерної мережі при географічному масштабуванні. Якщо вузли розподіленої системи можуть знаходитись у географічно віддалених точках, що призводить до можливого зменшення загальної надійності та продуктивності розподіленої системи при низькій швидкості передачі даних.

Мікросервісні та монолітні системи. Монолітні системи являють собою цілісний продукт, в якому інтерфейс користувача та виконання прикладних задач обробки даних поєднується в єдиний програмний модуль («код»), що забезпечує виконання певної задачі з чітким виконанням кожного кроку для досягнення потрібного результату. Така система є автономною і незалежною від інших програмних додатків, працює в рамках однієї обчислювальної системи, незалежно від внутрішньої модульності або архітектурних шарів.

Основними перевагами використання монолітного шаблону архітектури є:

- простота розробки — метою сучасних засобів розробки, в тому числі інтегрованих середовищ розробки, є підтримка розробки монолітних систем;

- простота розгортання — для цього необхідно завантажити систему у відповідне середовище виконання, без потреби розгортання додаткових підсистем, які необхідні для її функціонування;

- просте масштабування — дає змогу розгорнути декілька копій програми та розмістити їх за балансувальником навантаження.

Незважаючи на ряд переваг, такі системи мають певні недоліки, що виникають, коли система розширюється та змінюється команда розробників:

- значна за розміром монолітна система є складною для підтримки та розширення, особливо для новачків у команді розробників, що уповільнює її подальше розширення та з часом призводить до погіршення програмного коду;

- перевантаження засобів розробки, що призводить до зменшення продуктивності розробників, адже чим більша кодова база системи, тим повільніше працює інтегроване середовище розробника;

- перевантаження середовища виконання, адже чим більша за розміром система, тим більше часу витрачається на її тестування, розгортання та завантаження;

- ускладненість безперервного розгортання — особливо часто ця проблема виникає саме у розробників інтерфейсу користувача, адже, щоб оновити один компонент, необхідно заново розгорнути всю систему;

- проблема масштабування — масштабування можливе тільки горизонтально, крім того, різні модулі системи мають різні вимоги до ресурсів, а з монолітним шаблоном архітектури ми не можемо масштабувати кожен компонент окремо;

- довгострокова відданість технологічному стеку — монолітна архітектура змушує прив'язатися до технологічного стеку, як наслідок, виникає обмеженість використання компонентів, що базуються на інших технологіях. Якщо ж платформа, що використовується, застаріє, то поступова міграція на нову платформу неможлива, а створення нової системи з нуля призводить до великих ризиків.

Мікросервісний шаблон архітектури є сучасним уявленням сервіс-орієнтованої архітектури, що здійснює публікацію сервісами своїх інтерфейсів, даючи змогу іншим сервісам звертатися до них за допомогою стандартних мережевих протоколів, які не залежать від мов програмування і платформ.

Мікросервіс — це незалежний, автономний ресурс, спроектований як окремий сервіс у рамках інформаційної системи, що взаємодіє з іншими мікросервісами через стандартні способи зв'язку, такі як гіпертекстовий транспортний протокол, черги повідомлень тощо. Унікальність мікросервісів обумовлена тим, що кожен розробляється, тестується, розгортається і масштабується незалежно від інших. Ідея використання мікросервісів заснована на кращих принципах розробки програмного забезпечення, в тому числі таких, як слабка зв'язність (coupling), висока згуртованість (cohesion), висока масштабованість.

Розробка інформаційної системи з використанням мікросервісного шаблону архітектури має ряд переваг:

- забезпечує безперервне розгортання системи — через постійне оновлення інформаційної системи, за рахунок CI/CD (англ. continuous integration and continuous delivery), адже кожна команда відповідальна за певний елемент, та

може, незалежно від інших команд, розробляти, тестувати, розгортати і масштабувати;

- кожен мікросервіс відносно малий — розробнику легше зрозуміти та внести зміни, швидше проводиться тестування, робота в інтегрованому середовищі розробки більш продуктивна за рахунок швидкодії, зменшуються втрати часу на запуск системи;

- ізоляція несправностей — порівняно з монолітною системою, у якій один некоректно працюючий компонент впливає на всю систему, якщо в одному сервісі мікросервісної системи стався, наприклад, витік пам'яті, це вплине тільки на конкретний сервіс, інші сервіси будуть продовжувати обробляти запити;

- усуває довгострокову відданість технологічному стеку — при розробці нового сервісу можливо обирати технології, які доцільно використати, а не обмежуватися раніше обраними, також при внесенні серйозних змін в існуючий сервіс є можливість переписати його окремо, використовуючи новий технологічний стек, та не впливати на будь-які інші компоненти системи.

Проте мікросервісний шаблон архітектури має певні недоліки:

- складність розгортання — у виробничому процесі збільшується час на розгортання й управління системою за рахунок багатьох різних служб;

- збільшене споживання ресурсів, адже заміна N монолітних екземплярів системи на NxM мікросервісів призводить до збільшення кількості необхідних обчислювальних ресурсів, якщо кожна служба працює у своїй власній віртуальній машині;

- команди розробників повинні чітко розуміти, як реалізувати механізми міжсервісного зв'язку і впоратися з частковою відмовою, тому виникає потреба в інтеграційному тестуванні в рамках взаємодії між сервісами; як реалізувати запити, які охоплюють кілька служб; усі нюанси створення монолітних додатків.

Процес переходу між мікросервісним і монолітним шаблоном архітектури. Мікросервісний та монолітний шаблони архітектури достатньо тісно пов'язані. Найчастіше на початкових етапах розробки нового сервісу розробники програмного забезпечення надають перевагу саме монолітному шаблону архітектури. Такий вибір обумовлено перевагами цього шаблону архітектури, що описані вище: простота розробки, простота розгортання та просте масштабування. Крім того, при використанні монолітного шаблону архітектури є можливість дешевої розробки мінімально життєздатного продукту (англ. Minimum viable product — MVP). Такий шаблон архітектури зручний у використанні у більшості випадків лише на початку розробки та підтримки системи, оскільки під час експлуатації та розширення монолітного програмного продукту розробники яскраво бачать вузькі місця, що потребують масштабування. Важливо звернути увагу на те, що при проектуванні програмного продукту відповідно до монолітного шаблону архітектури використовують одну базу даних, в якій і зберігаються всі бізнес-важливі дані. Тож вузьким місцем найчастіше стають запити до бази даних. Для усунення проблем вузьких місць необхідно провести детальний аналіз, що надасть можливість усвідомлено приймати рішення про виконання оптимізації чи масштабування.

Масштабування баз даних виконується у двох вимірах: вертикально та горизонтально. Вертикальне масштабування полягає в збільшенні обчислювальних ресурсів, а горизонтальне — у створенні додаткового екземпляра серверу баз даних.

У загальному випадку горизонтальне масштабування баз даних передбачає три варіанти [4]:

- реплікація — синхронне або асинхронне копіювання елементів бази даних між декількома серверами;
- шардінг — розподілення даних між різними фізичними серверами за обраним фактором [5];
- партиціонування — розбиття таблиць, що містять велику кількість записів, за обраним критерієм, на множину фізичних таблиць, доступ до яких надається через логічну таблицю.

При виникненні проблем з обробкою запитів на читання застосовують реплікацію, а в разі проблем із записом або обробки великого об'єму — шардінг. Партиціонування застосовують тоді, коли при фіксації транзакції багато часу займає перебудова індексів. Загалом, перед проведенням горизонтального масштабування доцільно пересвідчитися, чи можливо провести реплікацію або шардування саме вузького місця, тобто виділити частину логічної схеми бази даних в окрему фізичну базу даних, що надасть можливість ізолювати проблему та зменшити вплив на швидкодію інформаційної системи загалом. За наявності такої можливості варто застосувати операцію виділення схеми бази даних, що відноситься до категорії рефакторинг доступу.

Якщо вузьким місцем є бізнес-логіка або взаємодія з окремою частиною бази даних інформаційної системи, то виникає необхідність виділення вузького місця в окремий сервіс, тобто відбувається перехід від монолітного до мікросервісного шаблону архітектури. Крім того, потреба у виділення окремого сервісу виникає за бізнес-потреби масштабування команди розробників.

Однією зі стратегій переходу до мікросервісного шаблону архітектури є декомпозиція за бізнес-складовою (*decompose by business capability*). Така стратегія передбачає, що модель бізнесу впливає на модульність та архітектуру інформаційної системи. Іншою стратегією реалізації мікросервісного шаблону архітектури є декомпозиція за субдоменом (*decompose by subdomain*), яка передбачає створення структури інформаційної системи відповідно до моделі предметної області. Для коректного виділення окремого субдомену доречно застосувати предметно-орієнтоване проектування, що полягає у створенні програмних абстракцій, які описують модель предметної області. Ця модель включає бізнес-логіку, що встановлює зв'язок між реальними умовами області застосування продукту і кодом. У стратегії декомпозиції за субдоменом домен розмежовується на субдомени, які відповідають різним частинам предметної області.

Загалом, сервіси доцільно створювати відповідними за складністю до складу команди розробників, щоб над ними було легко працювати та легко проводити тестування. Декомпозиція виконується таким чином, щоб більшість змін у

вимогах впливали лише на конкретний сервіс. Це обумовлено тим, що для змін, які впливають одразу на декілька сервісів, необхідно залучати відразу більше однієї команди, що, у свою чергу, збільшує час виконання завдання. Додатковими вимогами до реалізації сервісів відповідно до сервіс-орієнтованої архітектури є висока згуртованість (cohesion) та низька зв'язаність (coupling) [6; 7].

При переході до мікросервісного шаблону архітектури не варто обмежуватись однією стратегією переходу, для отримання оптимального результату допускається комбінування вищевказаних стратегій.

При використанні мікросервісного шаблону архітектури мають місце два варіанти взаємодії з базою даних: «база даних кожному сервісу» (database per service) та «спільна база даних» (shared database).

Головною особливістю підходу «база даних кожному сервісу» є те, що кожний сервіс виконує маніпуляції в рамках власної бази даних (рис. 1), а головним обмеженням є те, що жодний інший сервіс не може мати привілеїв доступу до бази даних іншого сервісу. Зв'язок або обмін даними може відбуватися лише за допомогою набору чітко визначених інтерфейсів програмування додатків (англ. API — application programming interface). Неправильне розділення моноліту на мікросервіси може призвести до високої зв'язаності між сервісами, оскільки виникає необхідність проводити обмін даними для реалізації їхньої логіки. Інший недолік цього патерну — це ймовірність виникнення проблем з реалізацією бізнес-транзакцій, що охоплюють декілька мікросервісів. Для кращої реалізації цього використовують шаблон saga (saga pattern) [8]. Зазвичай, підхід «база даних кожному сервісу» застосовують для ізоляції вузького (навантаженого) місця.

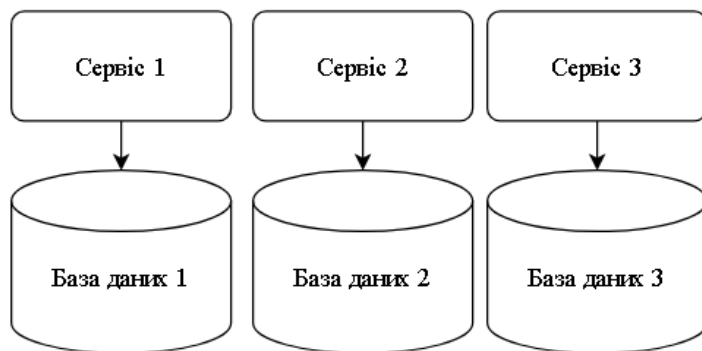


Рис. 1. Підхід database per service

Спільна база даних (shared database) — підхід, при якому різні мікросервіси використовують одну базу даних (рис. 2). Перевагою такого підходу є проста реалізація бізнес-транзакцій — розробники використовують транзакції ACID для забезпечення консистентності даних. Крім того, спільна база даних полегшує роботу. Важливою перевагою цього підходу є просте відновлення бази даних з бекапу порівняно з варіантом «база даних кожному сервісу», де виникає складність з відновленням консистентного стану після збою. У свою

чергу, недоліком є те, що робота за варіантом «спільна база даних» може бути повільнішою. Оскільки всі сервіси використовують одну базу даних, важливо координувати внесення змін до схеми бази даних з розробниками інших сервісів, що звертаються до тих самих таблиць бази даних. Таким чином виникає зв'язаність часу розробки (development time coupling) [9]. Крім того, уповільнити роботу може зв'язаність під час виконання (runtime coupling) [9]. Це ситуація, коли декільком мікросервісам необхідно отримати доступ до однієї таблиці бази даних. Тоді у випадку, якщо з таблицею бази даних вже працює певний мікросервіс, інший мікросервіс, що звертається до цієї таблиці пізніше, повинен чекати на завершення попереднього звернення. Також варто зазначити, що спільна база даних може не відповідати вимогам зберігання даних і доступу до всіх мікросервісів.

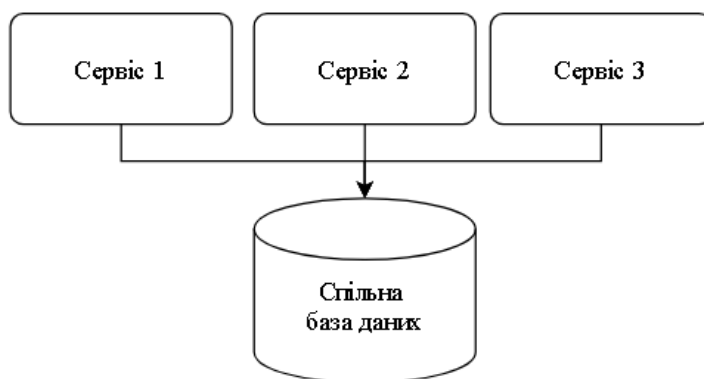


Рис. 2. Підхід shared database

При виділенні вузького місця в окремий сервіс з використанням підходу «база даних кожному сервісу» виникає потреба в таких операціях категорії рефакторингу доступу:

- звуження привілеїв доступу;
- виділення схеми бази даних.

Об'єднання сервісів, тобто перехід від мікросервісного шаблону архітектури до монолітного, найчастіше виникає при зміні бізнес-процесів, зокрема тоді, коли два і більше сервісів набувають великої зв'язаності, що призводить до надмірної складності їх оновлення. Злиттям мікросервісів намагаються досягти скорочення накладних витрат на запуск, експлуатацію та обслуговування екземплярів серверів (web-серверів, СУБД тощо), а також у разі зміни трудової політики компанії (скорочення штату або заміна розробників на менш кваліфікованих). При виконанні об'єднання сервісів через їхню високу зв'язаність доцільно виконати злиття баз даних. Об'єднання надасть можливість прямого доступу до спільних даних, тобто забезпечить усі переваги підходу «спільна база даних». Під час виконання об'єднання сервісів матимуть місце такі операції рефакторингу доступу:

- розширення привілеїв доступу;
- злиття схем баз даних.

Додатковою перевагою злиття сервісів є підвищення швидкодії виконання запитів за рахунок виключення процесів аутентифікації, авторизації, серіалізації та десеріалізації при комунікації між сервісами.

Операції категорії рефакторинг доступу. Скотт В. Емблер, Прамодкумар Дж. Садаладж у своїй фундаментальній книзі «Рефакторинг баз даних: еволюційне проектування» запропонували шість категорій рефакторингу баз даних, а саме [10]:

- категорія рефакторинг структури направлена на зміну структур однієї або декількох таблиць чи представлень бази даних, включає в себе заміну зв'язків один-до-багатьох на асоціативні таблиці, поділ таблиць, перейменування таблиць тощо;

- категорія рефакторинг якості даних забезпечує ефективність збереження та роботи з такими даними, що досягається за рахунок додавання правил валідації, форматів введення даних, забезпечення неможливості залишати порожніми поля та використання значень за замовчуванням тощо;

- категорія рефакторинг посилальної цілісності акумулює операції, які забезпечують, що будь-які дані, маючи зовнішні ключі, не посилаються на видалені записи, а також при видаленні первинного ключа зовнішні ключі будуть відповідно реагувати;

- категорія рефакторинг архітектури направлена на зміни з метою поліпшення правил взаємодії, за якими зовнішні програми працюють з базою даних;

- категорія рефакторинг методів направлена на внесення змін у код збережуваних процедур, функцій або тригерів (приклад додавання та видалення параметрів процедури з метою підвищення загальної якості роботи бази даних);

- зміни, що не входять до операцій рефакторингу, впливають на семантику схеми бази даних, додаючи до неї нові елементи.

У [10] зазначено, що обрана стратегія розподілу за категоріями була введена з метою поліпшення подачі матеріалу та покращення розробки інструментальних засобів рефакторингу баз даних.

До цього переліку варто додати ще одну категорію рефакторингу баз даних — рефакторинг доступу. Категорія рефакторинг доступу акумулює в собі зміни в системі управління базою даних, що пов'язані з доступом до даних, тобто операції, пов'язані зі змінами розташування об'єкта бази даних, атрибутів аутентифікації користувача, авторизаційних прав користувача. Цього мінімально достатньо для успішного доступу до даних.

До цієї категорії належать такі операції [11]:

- зміна атрибутів аутентифікації;
- звуження привілеїв доступу;
- розширення привілеїв доступу;
- виділення схеми бази даних;
- злиття схем баз даних.

Варто детально розглянути кожну з перелічених операцій для їх розуміння та необхідності застосування.

Операція зміна атрибутів аутентифікації передбачає створення нового користувача для заміщення старого. Основними причинами застосування операції зміни атрибутів аутентифікації є компрометація пароля користувача або планова ротація паролей. Також її застосовують при підвищенні вимог до складності пароля, зміні способу аутентифікації (використання Unix Socket, РАМ тощо). Зміну атрибутів аутентифікації варто проводити через створення нового користувача задля збереження безперебійної роботи інформаційної системи.

Процес застосування операції зміни атрибутів аутентифікації:

1. Створення нового користувача. Головною вимогою до нового користувача є те, що він повинен володіти повністю ідентичними привілеями доступу (атрибутами авторизації), що і в старого користувача. Тобто множини привілеїв доступу старого (P_{U1}) та нового (P_{U2}) користувачів мають бути ідентичними — $P_{U1} \equiv P_{U2}$.

2. Заміна користувача бази даних у тестовому середовищі. За наявності тестування варто змодельовати виконання операції рефакторингу у тестовому середовищі, зокрема виконати заміну тестового користувача, що асоційований з користувачем у виробничому середовищі, та провести зміну налаштувань підключення до бази даних у тестових додатках. Для правильності проведення тестування необхідно в базі даних тестового середовища видалити старого користувача. За успішного переходу на використання нової конфігурації підключення та виконання всіх тестів можливий перехід до наступного пункту процесу застосування операції рефакторингу.

3. Заміна користувача бази даних у виробничому середовищі. В усіх програмних додатках, що здійснюють підключення до бази даних за допомогою старого користувача, виконується редагування конфігурації підключення вказанням атрибутів аутентифікації нового користувача. Заміну користувача варто виконувати у додатках послідовно.

4. Аудит бази даних на предмет наявності аутентифікації за атрибутами старого користувача. Пункт є не обов'язковим до виконання за наявності тестування, а в іншому випадку необхідно перевірити, чи не використовується старий користувач бази даних перед його видаленням. Усі сучасні СУБД мають у своєму арсеналі вбудовані інструменти чи плагіни для проведення аудиту безпеки. Авторами статті рекомендовано їх до використання під виконання поточного пункту. Проведення аудиту безпеки цікавить тільки для виявлення використання старого користувача після міграції всіх програмних додатків на використання нового користувача.

5. Видалення старого користувача. Після того, як перевірено, що старий користувач не використовується, його необхідно видалити. Видалення рого користувача не є обов'язковим, але наполегливо рекомендується для уникнення несанкціонованого доступу до бази даних за його використанням.

Схематично процес застосування операції зміни атрибутів аутентифікації відображено на рис. 3.

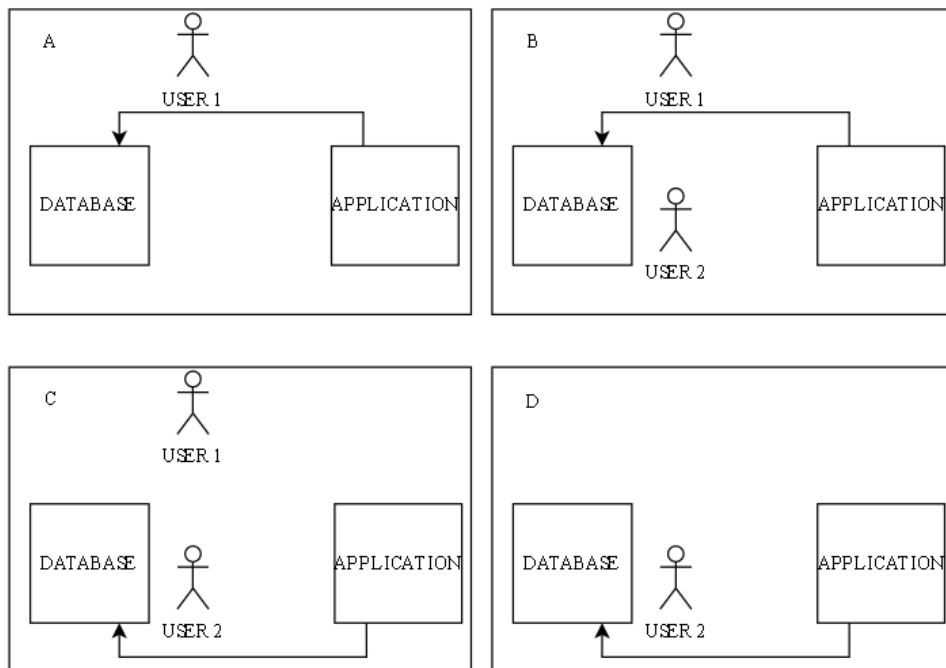


Рис. 3. Схематичне зображення процесу застосування операції зміни атрибутів аутентифікації

Розглянемо наступну операцію рефакторингу доступу — операцію звуження привілеїв доступу. Метою впровадження цієї операції є скасування привілеїв доступу до об'єктів бази даних, що на момент впровадження операції рефакторингу були надані. Потреба використання цієї операції виникає після виділення вузького місця в окрему базу даних, при перетворенні монолітної системи у сервіс-орієнтовану, а також при зміні політики доступу до даних співробітниками компанії.

Процес застосування операції звуження привілеїв доступу:

1. Створення нового користувача. Щоб гарантувати безперебійну роботу інформаційної системи, впровадження нової множини привілеїв доступу (атрибутів авторизації) необхідно здійснювати через створення нового користувача. Новий користувач має бути створений з цільовою множиною привілеїв доступу (P_{U2}) та бути повністю налаштованим до використання.

2. Використання нового користувача в місцях звуження привілеїв. У місцях доступу до даних, що відбуваються за привілеями, які підпали під звуження, виконуємо заміну старого користувача на нового. Новий користувач використовується через окреме підключення до бази даних.

3. Використання нового користувача бази даних у тестовому середовищі. Доцільно змоделювати проведення рефакторингу у тестовому середовищі, якщо це можливо. Необхідно використати нового користувача, що відповідає користувачу у виробничому середовищі, та замінити підключення до бази даних у місцях доступу до даних, що відбуваються за привілеями, які підпали під

звуження. Для коректного проведення тестування у старого користувача видаляються привілеї з бази даних тестового середовища. Коли всі тести будуть успішно пройдені, можливий перехід до наступного етапу операції рефакторингу.

4. Використання нового користувача бази даних у виробничому середовищі. Необхідно провести конфігурацію окремого підключення в усіх програмних додатках, із зазначенням атрибутів аутентифікації нового користувача. Рекомендовано виконувати заміну користувача у додатках послідовно.

5. Аудит бази даних на предмет наявності авторизації старого користувача за привілеями, які підпали під звуження. Цей пункт необхідний для виявлення використання старого користувача, проте не обов'язковий до виконання, якщо було проведено тестування. В іншому випадку, перед видаленням привілеїв доступу зі старого користувача, необхідно пересвідчитись у тому, що вони не використовуються. Авторами статті рекомендовано використовувати інструменти та плагіни для проведення аудиту безпеки, що вбудовані в усі сучасні СУБД.

6. Видалення зі старого користувача привілеїв, які підпали під звуження. Після перевірки того, що привілеї не використовуються, їх можна видалити. Кінцеві привілеї старого користувача (P_{U1}) повинні набути вигляду: $P_{U1} = P_{U1} - (P_{U1} \cap P_{U2})$, де P_{U1} — початкові привілеї доступу старого користувача. Це не є обов'язковим, проте рекомендується з метою безпеки даних для уникнення несанкціонованого доступу.

Схематично процес застосування операції звуження привілеїв доступу відображено на рис. 4.

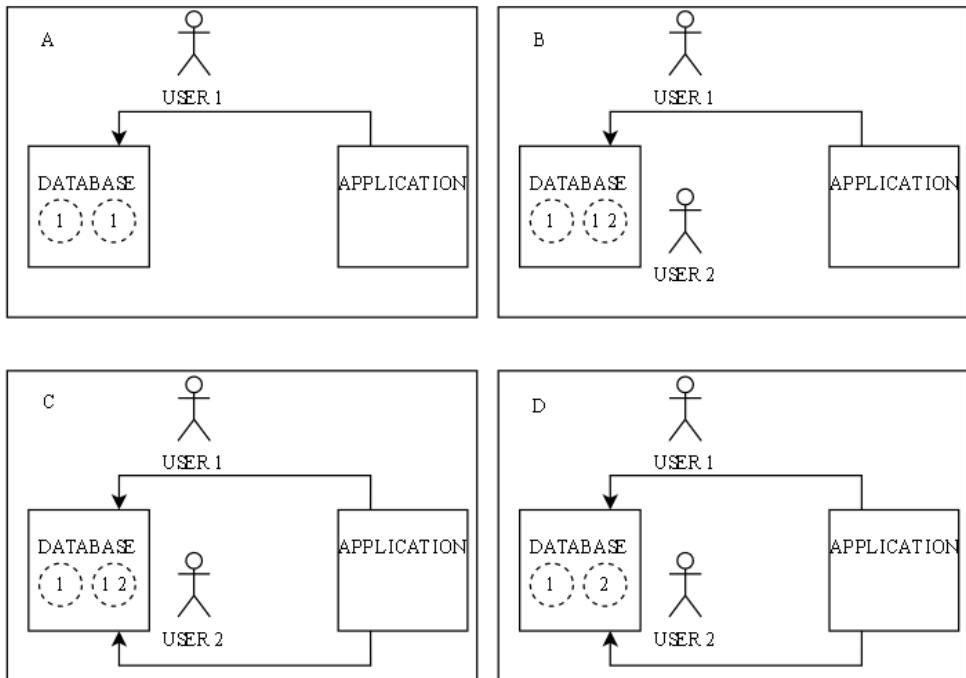


Рис. 4. Схематичне зображення процесу застосування операції звуження привілеїв доступу

Операція розширення привілеїв доступу впроваджується для надання існуючому користувачу прав доступу до об'єктів бази даних, що йому недоступні. Найчастіше використовується після зміни схеми бази даних, що впроваджувалися задля доповнення або додавання до відображення в реляційній базі даних сутностей реального світу (створення таблиць, процедур тощо).

Процес впровадження операції розширення привілеїв доступу проходить в один етап — наданні існуючому користувачеві привілеїв, що йому необхідні. На відміну від операцій рефакторингу, описаних вище, новий користувач не створюється, адже не виникає посилення передумов відповідно до принципу підстановки Барбара Лісков і, як наслідок, зберігається зворотна сумісність між наявною та новою схемою доступу до даних. Хоча принцип підстановки Барбара Лісков сформульований у рамках об'єктно-орієнтованого програмування, він може бути застосований до інших сфер за допомогою методу екстраполяції, тобто перенесення знань з однієї предметної області на іншу. Обов'язковою умовою до нової множини привілеїв доступу (P'_{U1}) є те, що вона повинна являти собою об'єднану множину з наявних (P_{U1}) і надаваних (P_{ext}) привілеїв доступу $P'_{U1} = P_{U1} \cup P_{ext}$.

Схематично процес застосування операції розширення привілеїв доступу відображено на рис. 5.

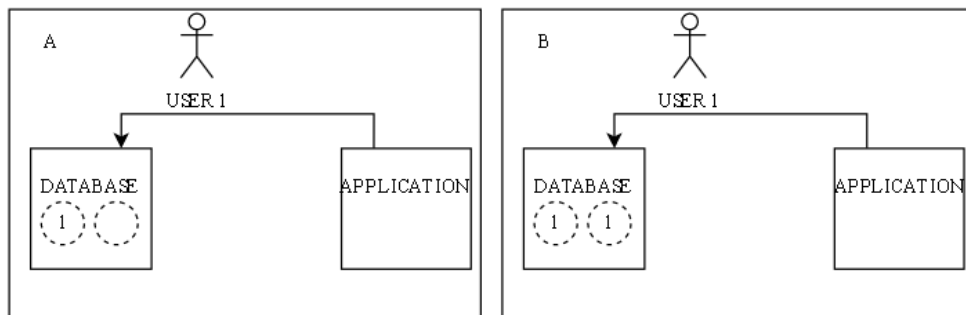


Рис. 5. Схематичне зображення застосування операції розширення привілеїв доступу

Операція виділення схеми бази даних. Метою впровадження операції є виокремлення групи таблиць, представлень і процедур зберігання, що їх обслуговують (сегменту даних), до окремої бази даних. Застосування цієї операції знаходить своє місце під час переходу між варіантами взаємодії з базою даних у сервіс-орієнтованій архітектурі, зокрема від варіанта «спільна база даних» до варіанта «бази даних кожному сервісу» за потреби подальшого масштабування операцій зчитування, запису або обчислення.

Процес застосування операції виділення схеми бази даних передбачає:

1. Визначення сегмента даних. Сегмент даних, які необхідно перемістити в окрему базу даних, відбувається відповідно до сервісу, що буде його обслуговувати. Важливо виділити сегмент даних таким чином, щоб сервіс відповідав базовому принципу розподілення відповідальності «інформаційний експерт», що входить до групи шаблонів GRASP, тобто, виділяючи з монолітної

системи сервіс за однією з двох стратегій, необхідно забезпечити достатній набір даних, щоб він набув статусу інформаційного експерта.

2. Видалення зв'язаності з переміщуваними даними. На цьому етапі застосовується комплекс заходів з використанням операцій рефакторингу з категорій рефакторинг посилальної цілісності, рефакторинг структури, рефакторинг методів з метою знищення будь-якої зв'язаності між переміщуваними даними та даними, що залишаються в глобальній базі даних. Зв'язаностями також вважаються випадки наявності зовнішніх ключів між таблицями різних сегментів і використання цих таблиць у представленнях і процедурах зберігання.

3. Створення нового користувача. Для роботи з виокремленим сегментом даних створюється новий користувач з метою обмеження доступу.

4. Взаємодія через нового користувача. В програмних додатках, що використовують базу даних, необхідно виконати зміни з використанням нового користувача в окремо створеному підключенні при взаємодіях з сегментом даних, що виділяється. Для коректного проведення цього етапу варто звернутися до рефакторингу коду. Кінцевою метою цього етапу є локалізація алгоритмів, що виконують обробку сегмента даних, що виділяється, в окремий модуль, та формалізація інтерфейсу взаємодії з програмним модулем.

5. Перевірка працездатності інформаційної системи у тестовому середовищі. Виконуючи цей пункт операції рефакторингу, важливо пересвідчитись у тому, що не виникло порушень у роботі алгоритмів інформаційної системи. Для правильності проведення тестування необхідно попередньо скасувати привілеї доступу старого користувача до об'єктів бази даних, що виокремлюються. За умови успішного виконання всіх тестів та відсутності звернень до виокремлених даних від імені старого користувача можливий перехід до наступного пункту процесу застосування операції рефакторингу.

6. Аудит бази даних на предмет звернень до виокремлених даних від імені старого користувача. За відсутності стовідсоткового покриття тестами взаємодії з базою даних варто застосувати інструменти чи плагіни аудиту безпеки. Їх використання допоможе виявити місця в алгоритмах інформаційної системи, що виконують доступ до даних від імені старого користувача.

7. Скасування привілеїв доступу старого користувача до виокремленого сегмента даних. Після того, як перевірено, що старий користувач не здійснює звернень до виокремлених даних, виконується скасування привілеїв доступу.

8. Створення нової бази даних і виконання міграції даних. Спочатку виконується створення нової бази даних, що за фізичною структурою повністю ідентична до виокремленого сегмента, а також користувача до неї, що за привілеями доступу є відповідним до користувача, створеного в пункті 3. Далі виконується налаштування міграції даних зі старої бази даних до новоствореної. Авторами цієї статті рекомендується виконувати міграцію даних за допомогою інструментів реплікації. На момент написання статті майже всі популярні СУБД мають у своєму арсеналі можливість проводити реплікацію окремих таблиць, а не всієї бази даних. Якщо використовується СУБД не підтримує реплікацію на рівні таблиць, то можливе налаштування репліки всієї старої бази даних з подальшим

видаленням з неї об'єктів, що не відносяться до виокремленого сегмента. Видаляти зайві об'єкти варто після переключення інформаційної системи на нову базу даних і знищення реплікації.

9. Заміна нового користувача старої бази даних на користувача нової бази даних. Після завершення міграції даних необхідно виконати заміну користувача, що здійснює взаємодію з виокремленим сегментом у старій базі даних на користувача, створеного для взаємодії з новою базою даних, що створена у пункті 8. Після виконання переключення користувачів необхідно зупинити роботу інструментів, що підтримують міграцію у наближеному до реального часу.

10. Видалення виокремленого сегмента зі старої бази даних. Після остаточного переходу на нову базу даних варто виконати очистку старої бази даних від об'єктів, що відносяться до виокремленого сегмента даних. Цей пункт не є обов'язковим, проте рекомендований до виконання з метою зменшення технічного боргу.

Операція злиття схем баз даних. На відміну від попередньої операції рефакторингу ця операція передбачає злиття різних баз даних в єдину з метою спрощення реалізації бізнес-транзакцій і забезпечення консенсетності даних. Відповідно до теореми CAP [12], ми відмовляємось від стійкості до розподілення, а як перевагу отримуємо узгодженість і доступність. Можливе застосування цієї операції знаходить своє місце під час переходу від бази даних кожному сервісу до спільної бази даних.

Процес застосування операції злиття схем баз даних:

1. Уніфікація назв об'єктів баз даних, що зливаються. Перед початком безпосереднього злиття баз даних необхідно провести уніфікацію назв таблиць, представлень, користувачів та інших об'єктів баз даних, що зливаються. Виконання цього пункту необхідне для уникнення конфліктів між іменами при злитті. Авторами статті рекомендується використовувати операції рефакторингу структури.

2. Визначення головної бази даних з-поміж тих, що зливаються. Щоб оптимізувати проведення рефакторингу та не створювати нову базу даних, необхідно вибрати головну базу даних, до якої буде виконуватись злиття другої бази даних.

3. Міграції даних. Спочатку до головної бази необхідно скопіювати фізичну структуру, повністю ідентичну до другорядної бази даних. Потім виконується копіювання користувачів, що взаємодіють з другорядною базою даних зі збереженням їхніх привілеїв доступу. Далі виконується налаштування міграції даних із другорядної бази даних до головної. Деталі використання реплікації задля проведення міграції даних описані в операції виділення бази даних.

4. Заміна користувача другорядної бази даних на відповідного користувача головної бази даних. Після завершення міграції даних необхідно виконати заміну користувачів, що взаємодіють з другорядною базою даних, на нових користувачів головної бази даних, що були створені на попередньому етапі. Після цього, так само як і в операції виділення схеми бази даних, необхідно

зупинити роботу інструментів, що підтримують міграцію у наближеному до реального часу.

5. Перевірка працездатності інформаційної системи у тестовому середовищі. Виконання цього пункту дає змогу пересвідчитися в тому, що не виникло збоїв у роботі інформаційної системи. Для правильності проведення тестування необхідно попередньо з користувачів другорядної бази даних скасувати всі привілеї доступу. Після успішного виконання всіх тестів і відсутності звернень до даних від імені користувачів другорядної бази даних можливий перехід до наступного етапу операції рефакторингу.

6. Аудит бази даних на предмет звернень до даних від імені користувачів другорядної бази даних. У разі відсутності повного покриття тестами взаємодії з базою даних варто застосувати інструменти та плагіни аудиту безпеки. Використання цих засобів дасть змогу виявити місця в алгоритмах системи, що виконують доступ до даних від імені користувачів другорядної бази даних.

7. Видалення другорядної бази даних. Після остаточного перенесення даних до головної бази даних і переключення користувачів варто видалити другорядну базу даних. Цей пункт не є обов'язковим, проте рекомендований до виконання для уникнення витоків даних.

Висновки

Підсумовуючи, варто зазначити, що для якісної та швидкої розробки програмного забезпечення, а також для економії коштів, що можуть піти на виправлення архітектурної помилки інформаційної системи, необхідно відповідально ставитися до вибору шаблону архітектури. При створенні сучасних інформаційних систем розробники намагаються забезпечити їхню високу адаптивність під вимоги ринку, що стрімко змінюються. У статті наведені переваги та недоліки розповсюджених шаблонів архітектури програмного забезпечення. При тривалій розробці та підтримці інформаційної системи її програмний код може стати доволі важким у сприйнятті розробниками, тому виникає необхідність проведення рефакторингу. Запропоновано нову категорію рефакторингу — рефакторинг доступу, що акумулює в собі зміни, які пов'язані з доступом до об'єктів бази даних, у системі управління базою даних. Передумова її створення — відсутність операцій, що застосовуються для реагування на події політики безпеки (ротация паролей, компрометація паролей, зміна вимог до складності паролей, зміна способу аутентифікації тощо), зміни у правах доступу та масштабування баз даних.

Література

1. Tanenbaum A. S., Steen M.V. Distributed systems: principles and paradigms. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. 2007. 685 с.
2. Crowcroft J. Transparencies. Open Distributed Systems. Department of Computer Science and Technology, University of Cambridge. 18 с.
3. Howard M., LeBlanc D., Viega J. 24 DEADLY SINS OF SOFTWARE SECURITY Programming Flaws and How to Fix Them. McGraw-Hill Education. 2010. 393 с.
4. Nath K. Understanding database scaling patterns. URL: <https://medium.com/@kousi-knath/understanding-database-scaling-patterns-ac24e5223522> (дата звернення: 12.12.2019).

5. Drake M. Understanding Database Sharding. URL: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/understanding-database-sharding> (дата звернення: 12.12.2019).
6. Richardson C. Pattern: Decompose by business capability Context. URL: <https://microservices.io/patterns/decomposition/decompose-by-business-capability.html> (дата звернення: 04.11.2019).
7. Business Capabilities determine Microservices. URL: <https://www.capstera.com/business-capabilities-determine-microservices/> (дата звернення: 06.11.2019).
8. Richardson C. Pattern: Saga. URL: <https://microservices.io/patterns/data/saga.html> (дата звернення: 04.11.2019).
9. Richardson C. Pattern: Shared database Context. URL: <https://microservices.io/patterns/data/shared-database.html> (дата звернення: 06.11.2019).
10. Эмблер С., Садаладж П. Рефакторинг баз данных. Эволюционное проектирование. Вильямс, Москва, Россия. 2016. 368 с.
11. Струзік В. А. Категорія рефакторинг доступу. Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління». 27—29 листопада 2019 року. Івано-Франківськ. С. 20—21.
12. Brewer E. CAP Twelve Years Later: How the “Rules” Have Changed URL: <https://www.infoq.com/articles/cap-twelve-years-later-how-the-rules-have-changed>. (дата звернення: 24.11.2019).

PECULIARITIES OF SAFE USE AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF MODERN FOOD PACKAGING AND ITS REQUIREMENTS

L. Gorceva, T. Kostjuchenko, N. Stadnichuk, I. Mihlik

L. I. Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety, ministry of health

O. Kronikovskii

National University of Food Technologies

Key words:

*Packaging materials
Foil
Bio-soluble polyethylene
Bio-packaging
Environmental safety*

Article history:

Received 16.03.2020
Received in revised form
29.03.2020
Accepted 13.04.2020

Corresponding author:

O. Kronikovskii
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The intensive development of food and beverage industry has led to the introduction of new packaging technologies, an expansion of the packaging materials market and an increase in their usage.

The variety of food products and materials used for packing requires an individual approach in each case. Properties of packaging materials, the set of general and special purpose of food product, such characteristics as composition, consistency, mass, storage condition and terms of realization should be taken into account. The main materials used for packaging of food and beverages are glass, polymers and plastics, aluminum foil, tin, fabric, wood, paper, cardboard, laminates and combination as multilayer packaging.

Polymeric and other synthetic materials have become especially widespread in recent years. They are used for packaging, storage, transportation, sale of food products and as a part of technological equipment, devices used in manufacture of food products. The usage of synthetic materials gives an possibility to save traditional materials. At the same time, new possibilities are emerging for prolonging shelf life, reducing food losses, as well as providing higher consumer properties of packaged products.

From a hygienic standpoint, synthetic materials that come into contact with food at different stages of its production and consumption are considered as potentially dangerous lasting factors which are associated with the possibility of migration of their components into the composition of the product. In this regard, a strict hygienic regulation of sanitary-epidemiological examination of polymeric and synthetic materials intended for contact with foodstuffs was established at the stages of their production, sale and disposal. The latter requirement is related to the environmental safety standards of new synthetic materials entering the biosphere and provides their fastest biodegradation in the natural environment or for industrial re-utilization.

ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПЕЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ І ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА СУЧАСНОГО ХАРЧОВОГО ПАКУВАННЯ ТА ВИМОГИ ДО НЬОГО

Л. В. Горцева, Т. П. Костюченко, Н. О. Стаднічук, І. В. Міхлик

ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя МОЗ України»

О. І. Кроніковський

Національний університет харчових технологій

Інтенсивний розвиток індустрії харчових продуктів і напоїв призвів до впровадження нових пакувальних технологій, розширення ринку пакувальних матеріалів та збільшення об'єму їх використання.

Різноманітність харчових продуктів і матеріалів, що використовуються для їх пакування, потребують індивідуального підходу до вибору пакування. Враховуються властивості пакувальних матеріалів, комплекс вимог загального та спеціального призначення і властивості харчового продукту, з яких головним є склад, консистенція, маса, умови зберігання й терміни реалізації. Основні матеріали, які використовуються для пакування харчових продуктів і напоїв: скло, полімерні та пластичні матеріали, алюмінієва фольга, жерсть, тканини, дерево, папір, картон, ламінати — багатощарове пакування.

В останні роки особливо поширення набули полімерні та інші синтетичні матеріали, що застосовуються для пакування, зберігання, перевезення, реалізації харчових продуктів і в складі технологічного обладнання, приборів та пристроїв, які використовують при виготовленні харчових продуктів. Використання синтетичних матеріалів дає змогу економити традиційні матеріали. При цьому з'являються нові можливості подовження термінів зберігання, зниження втрат харчових продуктів, а також забезпечення більш високих споживчих властивостей запакованої продукції.

З гігієнічних позицій синтетичні матеріали, які контактують з їжею на різних етапах її виробництва і споживання, розглядаються як потенційно небезпечні тривалодіючі фактори, пов'язані з можливістю міграції їх компонентів до складу продукту. У зв'язку з цим встановлено жорсткий гігієнічний регламент санітарно-епідеміологічної експертизи полімерних і синтетичних матеріалів, призначених для контакту з харчовими продуктами, на етапах їх виробництва, реалізації та утилізації. Остання вимога, пов'язана з нормами екологічної безпеки нових синтетичних матеріалів, що надходять у біосферу, передбачає їхню максимальну швидку біодеградацію в природному середовищі або промислову реутилізацію.

Ключові слова: *матеріали для пакування, фольга, біорозчинний поліетилен, біопакування, екологічна безпека.*

Постановка проблеми. Вивчення особливостей безпечного використання та індивідуальних властивостей традиційних та інноваційних пакувальних матеріалів, що використовуються для пакування харчових продуктів з урахуванням специфіки виготовлення різних матеріалів та їх компонентного складу.

Мета статті полягає в проведенні комплексних досліджень і встановленні безпечності матеріалів, що контактують з харчовими продуктами, згідно з вимогами європейських і вітчизняних нормативних документів.

Викладення основних результатів дослідження. Одним із матеріалів, що широко використовується для пакування харчових продуктів, є алюмінієва фольга. Тара з алюмінієвої фольги використовується як одноразове пакування. При цьому також слід відмітити, що одноразовий посуд, виготовлений з високоякісної алюмінієвої фольги, має низку переваг, якщо порівняти з одноразовим посудом, виготовленим з інших матеріалів.

Характеристика найважливіших властивостей одноразового пакування з фольги наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Властивості одноразового пакування з фольги

| Основні переваги | Характеристика |
|---|---|
| Безпека для здоров'я (нетоксичність) | Ставідсотковий натуральний матеріал з практичною відсутністю шкідливих компонентів. Не вступає в активну хімічну взаємодію з харчовим продуктом. |
| Екологічність Утилізація | Успішно підлягає вторинній переробці. Утилізується без значних втрат матеріалу і зміни його основних властивостей (пластичність). У разі утилізації не забруднює навколишнє середовище. |
| Температурний режим | Витримує температуру від -4°C і до $+60^{\circ}\text{C}$. |
| Універсальність або багатofункціональність | Одночасне використання для приготування, транспортування, зберігання, розігріву і подачі страв. Можливість використання однієї і тієї ж ємності при низьких і високих температурах. |
| Висока теплопровідність | Можливість рівномірно розігрівати продукт без перегріву. |
| Корозійна стійкість | Стійкість до корозії при контакті практично з будь-яким продуктом. |
| Можливість зберігання свіжості продукту, смакових характеристик | Максимально перешкоджає висиханню або зволоженню їжі, втрати запаху і смаку, ставідсотковий бар'єрний матеріал, непроникний для пари і рідин, сонячного світла. |

Для дослідження було обрано одноразовий посуд (контейнери), виготовлений із харчової алюмінієвої фольги виробництва компанії «Студіо Пак Україна Лімітед». Вивчали особливості міграції токсичних речовин та елементів з матеріалу пакування в модельні розчини, що імітують харчові продукти залежно від складу й тривалості контакту. Такі дослідження дали змогу встановити, виділяє чи ні досліджуваний матеріал (виріб) речовини інгредієнтного складу тощо, які утворюються в процесі переробки та експлуатації виробів, а також отримати якісну і кількісну характеристику компонентів, що виділяються, визначити рівні міграції хімічних речовин та елементів у модельні середовища. Варто відмітити, що при цьому не було виявлено жодних ризиків, чим підтверджена можливість використання одноразового посуду, виготовленого з алюмінієвої фольги [1].

Ще одним яскравим прикладом інноваційної упаковки, що має цілий ряд переваг порівняно з консервною тарою, виготовленою із жерсті або скла, є ламістер або стерлаком. Це тришаровий комбінований матеріал, що складається з алюмінієвої лакованої фольги і поліпропіленової плівки, з'єднаних між собою клеєм. Така упаковка має в 5 разів меншу вагу, зберігає герметичність навіть при деформації, не окиснюється при зберіганні продукту.

Однією з найбільш цінних якостей ламістеру є унікальна антибактеріальна поверхня, яка запобігає можливому розмноженню бактерій. Контейнери з харчової алюмінієвої фольги особливо привабливі відсутністю будь-яких негативних властивостей і характеристик. Пакування з фольги є екологічним, нешкідливим для довкілля, оскільки може піддаватися багаторазовій переробці.

Основні сфери використання ламістеру: рибні та м'ясні консерви з різними видами соусу, м'ясо з гарніром, овочеві консерви, ікра рибна, фруктове пюре, каші, плов, паштети, молочні продукти, соки, джеми, мед тощо [2].

Останнім часом як упаковка для харчових продуктів застосовуються також багатошарові матеріали. Для їх виготовлення використовується більшість бар'єрних плівок на основі поліетеру і поліпропілену, полівінілхлориду, етиленвінілового спирту, поліетилентерефталату, поліаміду тощо.

Часто ламінування багатошарових пакувальних матеріалів здійснюється за допомогою різних типів поліуретанових клеїв. Таке пакування використовується для захисту від проникнення газів, водяних парів, для герметизації всередині пакування запаху чи аромату харчових продуктів і напоїв. У разі використання нехарчових клеїв для склеювання шарів упаковки виникає загроза для здоров'я людини.

На підставі проведених досліджень багатошарових матеріалів, призначених для пакування майонезу, було виявлено, що з багатьох плівок, для склеювання яких використовуються дешеві промислові поліуретанові клеї, мігрують діароматичні аміни в кількостях, що становлять загрозу здоров'ю споживачів, оскільки цим речовинам притаманна токсична та канцерогенна дія. Проведені дослідження дали змогу визначити та встановити максимально допустимий рівень міграції (МДР) діароматичних амінів у модельні середовища та продукцію на рівні 0,2 мкг/л. На основі цього використання нехарчових клеїв для багатошарових плівок було заборонено.

З гігієнічних позицій синтетичні матеріали, які контактують з їжею на різних етапах її виробництва і споживання, розглядаються як потенційно небезпечні тривалодіючі фактори, пов'язані з можливістю міграції їх компонентів до складу продукту. Тож харчові продукти, які контактують з нехарчовими матеріалами, також повинні розглядатися з позицій їх потенційної небезпеки для здоров'я споживачів. У зв'язку з цим встановлено жорсткий гігієнічний регламент санітарно-епідеміологічної експертизи полімерних і синтетичних матеріалів, призначених для контакту з харчовими продуктами, на етапах їх виробництва, реалізації й утилізації. Остання вимога пов'язана з нормами екологічної безпеки нових синтетичних матеріалів, що надходять у біосферу, і

передбачає їх максимально швидко біодеградацію в природному середовищі або промислову реутилізацію.

Більш широкий обсяг досліджень у рамках санітарно-епідеміологічної експертизи передбачено для синтетичних матеріалів, виготовлених з використанням інгредієнтів і технологій, які раніше не використовувалися. При цьому обов'язковим етапом експертизи є санітарно-токсикологічна оцінка токсичності, специфічних і віддалених наслідків дії на теплокровні організми та інші біологічні об'єкти. Цей етап проводиться для уникнення можливого шкідливого впливу на організм потенційно небезпечних речовин, що мігрують у харчовий продукт.

Велике значення надається питанню виготовлення пакувальної продукції, яка не буде джерелом забруднення навколишнього середовища. Так, наприклад, у зв'язку з труднощами, пов'язаними з утилізацією полімерних матеріалів, виникла потреба у використанні біополімерів для виробництва пакування, яке б розкладалося безпечно для довкілля і за менш тривалий строк. Це досягається шляхом введення спеціальних добавок нового покоління безпосередньо при виготовленні пакування [3].

Прикладом може бути біорозчинний поліетилен, який не відрізняється за своїми властивостями від звичайного поліетилену (водонепроникність, прозорість). Основна відмінність у тому, що біорозчинний поліетилен розкладається через 3 роки на воду, вуглекислий газ і біомасу. Це відбувається завдяки включенню в матеріал оксо-біодобавки d2w, яка є абсолютно нешкідливою, що підтверджено міжнародними сертифікатами якості. Поліетилен з оксо-біодобавкою d2w може використовуватися з харчовими продуктами згідно з Регламентом №10/2011 від 14 січня 2011 р. Європейської комісії про полімерні матеріали та вироби, призначені для контакту з продуктами харчування [4]. Ще одна важлива перевага біорозчинного поліетилену в його несуттєво більшій вартості порівняно зі звичайним. Технологія d2w базується на використанні добавки, яка, зазвичай, складає 1% у співвідношенні з поліетиленом безпосередньо при виробництві плівки (видуві, екструзії). При такій малій частці включення добавки готовий виріб зберігає всі якості звичайного поліетилену. Однією з унікальних властивостей цієї добавки є те, що можна задати необхідний період часу до того, як поліетилен почне розпадатися. Процес розпаду викликає будь-яка комбінація високої температури, світла і тиску, що діє як каталізатор і визначає швидкість та, відповідно, час розпаду. Як тільки процес розпаду почався, його неможливо зупинити, процес не залежить від місця знаходження виробу (під землею, у воді чи на поверхні). Поліетилен із добавкою d2w може піддаватися вторинній переробці.

Особливо цікавим варіантом для виготовлення біопакування є крохмаль як найбільш дешевий вид сировини, головним джерелом отримання якого є картопля, пшениця, кукурудза, рис, маїс та деякі інші рослини. Оскільки крохмаль є типовим гідрофільним полімером, то він може містити до 40% зв'язаної вологи, що дає змогу використовувати воду як один з найдоступніших пластифікаторів крохмалю. Така пластифікація проводиться при одночасному впливі

температури і механічних напруг. У результаті відбуваються значні зміни фізичних і механічних властивостей крохмалю. Далі методами компресійного пресування й екструзії формують термопластичні матеріали одноразового чи нетривалого застосування.

З метою оцінки ризику деяких пакувальних матеріалів (скла, дерева, паперу, картону) та запобігання їхньому негативному впливу на організм людини були проведені радіологічні дослідження, результати яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Визначення питомої активності природних радіонуклідів

| Пакувальний матеріал | Питома активність природних радіонуклідів, (Бк/кг) довірча похибка (P = 0,95) | | | | Ефективна питома активність природних радіонуклідів $A_{\text{еф}}$, в (Бк/кг) |
|----------------------|---|-----------|-----------|----------------------|---|
| | Калій-40 | Радій-226 | Торій-232 | Цезій-137 | $A_{\text{еф}}$ |
| Картон | 61,7±24,1 | 18,2±7,1 | 18,0±7,0 | 4,9±1,9 | 48,8±19,0 |
| Папір | 54,5±21,2 | 16,1±6,3 | 15,9±6,2 | 4,4±1,7 | 43,1±16,8 |
| Пляшка | 111±43,3 | 32,1±12,5 | 36,7±14,3 | — | 89,6±34,9 |
| Ящики з деревини | — | — | — | 11,2±4,4 (<740Бк/кг) | — |

У досліджених зразках не було виявлено перевищення вмісту радіонуклідів цезій-137 і стронцій-90. Отримані дані свідчать про використання якісної сировини для виробництва пакувальних матеріалів, стабільність радіаційної ситуації, а також ефективного контролю в критичних точках виробництва, зберігання та реалізації пакувальних матеріалів і харчових продуктів [5; 6]. Проте з огляду на постійне завезення сировини для виробництва харчових продуктів і пакувальних матеріалів з різних країн світу та уникнення ризиків негативного впливу шкідливих хімічних речовин і радіонуклідів необхідно при ввезенні проводити їх постійний обов'язковий вхідний контроль.

Висновки

Сучасні пакування містять функціональні домішки: поглиначі газів, вологу, ароматизатори, антимікробні препарати, що забезпечують зберігання харчових продуктів без порушення їхніх органолептичних властивостей протягом тривалого часу. Однак сучасні технології виробництва та виготовлення пакувальних матеріалів з використанням інноваційних підходів не виключають можливості виділення токсичних елементів їх складу в об'єкти навколишнього середовища, харчові продукти і напої, здійснюючи таким чином негативний вплив на організм людини.

Ризик негативного впливу токсикантів може значно зменшуватися за умови використання упаковки тільки за призначенням із дотриманням умов її експлуатації та зберігання. Обґрунтування вибору тих чи інших нових технологічних рішень щодо використання пакування для харчових продуктів повинно підтверджуватися санітарно-гігієнічними дослідженнями, які направлені на виявлення потенційної небезпеки матеріалу, що використовується.

Остаточні висновки про можливість використання тих чи інших матеріалів і виробів для контакту з певними харчовими продуктами можна зробити лише після проведення комплексу досліджень: органолептичних, санітарно-хімічних, мікробіологічних, радіологічних та інших самої упаковки і харчових продуктів, які в неї пакуються.

Більш широкий обсяг досліджень передбачається для синтетичних матеріалів, вироблених з використанням нових інгредієнтів і технологій. При цьому обов'язковим етапом експертизи є санітарно-токсикологічна оцінка токсичності, специфічних і віддалених наслідків за участю лабораторних тварин та інших біологічних об'єктів. Цей етап проводиться для уникнення шкідливого впливу на організм: інтоксикації, порушень функцій органів і систем, обміну речовин, сенсibilізації, гонадотоксичності, тератогенності, ембріотоксичності, канцерогенності, мутагенності потенційно небезпечних речовин, що мігрують у харчовий продукт з нового матеріалу. При встановленні будь-якого з перерахованих ефектів досліджуваній зразок синтетичного матеріалу не підлягає використанню для контакту з харчовими продуктами.

Література

1. Зенцов А. И. Рациональное применение фольги для упаковки. *Цветные металлы*. 2012. № 1. С. 77—81.
2. Фриче В. Растущий рынок упаковок. *Тара и упаковка*. 2011. № 1. С. 20—27.
3. Киринова М. П., Суханов Б. П., Кочергин Л. Л. Актуальные вопросы санитарного надзора и контроля за безопасностью применения полимерных материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. *Вопросы питания*. 2001. № 1. С. 36—41.
4. Регламент №10/2011 від 14 січня 2011 р. Європейської комісії про полімерні матеріали та вироби, призначені для контакту з продуктами харчування.
5. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Київ, 1998 р.
6. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. Державні санітарні правила 6.177-205-09-02. Київ, 2005 р.

THE USE OF MICROORGANISMS FOR BIOGENIC SYNTHESIS OF NANOPARTICLES

Y. Kharchenko, O. Skrotska

National University of Food Technologies

Key words:

Nanoparticles
Biogenic synthesis
Bacteria
Fungi
Yeast

Article history:

Received 15.03.2020
Received in revised form
30.03.2020
Accepted 12.04.2020

Corresponding author:

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

ABSTRACT

Nanoparticles of various metals are used in many industries — medicine, agriculture, food, chemical, petrochemical and electronics. There are different ways to obtain nanoparticles — chemical, physical and also biological methods which are popular today. It should be noted that obtaining nanoparticles of various elements and compounds using microorganisms is environmentally friendly and cost-effective. This method of synthesis eliminates the need of using toxic and expensive materials. Therefore, the aim of this review is to analyze modern scientific literature on the possibilities of using bacteria, fungi and yeast for the biogenic synthesis of nanoparticles. Special attention was paid to their properties and potential applications.

Microbial synthesis of nanoparticles connects nanotechnology and microbial biotechnology. The review provides data on the use of bacteria of the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Isosporicola*, *Acinetobacter*, *Halomonas*, *Streptomyces* etc. for the synthesis of gold, silver, palladium, copper, titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles. Intra- and extracellular synthesis of nanoparticles of filamentous fungi is discussed: ascomycetes *Neurospora crassa*, endophyte *Fusarium solani*, thermophiles *Thermoascus thermophilus*, saprotroph *Cladosporium cladosporioides* and others. Various methods for the synthesis of silver, selenium, iron, silicon dioxide, zinc oxide, cobalt ferrite nanoparticles using yeast of the genus *Saccharomyces*, *Magnusiomyces*, *Pichia* are described.

Various approaches of the authors to the parameters of the biogenic synthesis of nanoparticles using microorganisms are shown — different temperature parameters, pH change, process duration. The data on various ways of using the biological system for the synthesis of nanoparticles: culture fluid, acellular supernatant, or acellular extract are presented. Morphological characteristics and sizes of biogenic nanoparticles, possible mechanisms for their synthesis, as well as properties and applications are also indicated.

ВИКОРИСТАННЯ МІКРООРГАНІЗМІВ ДЛЯ БІОГЕННОГО СИНТЕЗУ НАНОЧАСТОК

Є. В. Харченко, О. І. Скроцька

Національний університет харчових технологій

Наночастки різних металів використовують у багатьох галузях — медицині, сільському господарстві, харчовій промисловості, хімічній та нафтохімічній промисловості, електроніці. Є різні способи отримання наночастинок — хімічні, фізичні, а також популярні на сьогодні біологічні методи. Слід наголосити, що отримання наночастинок різних елементів і сполук за допомогою мікроорганізмів є екологічно чистим та економічно вигідним, оскільки при такому способі синтезу відпадає необхідність у використанні токсичних і дорогих матеріалів. Тож метою цього огляду є аналіз сучасної наукової літератури щодо можливостей використання бактерій, грибів та дріжджів для біогенного синтезу наночастинок, їхніх властивостей і перспектив можливого застосування.

Мікробний синтез наночастинок пов'язує нанотехнології і мікробні біотехнології. В огляді наведені дані щодо застосування бактерій родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Isophtericola*, *Acinetobacter*, *Halomonas*, *Streptomyces* тощо для синтезу наночастинок золота, срібла, паладію, міді, діоксиду титану та оксиду цинку. Наведено інформацію про внутрішньо- та позаклітинний синтез наночастинок міцеліальними грибами: аскоміцетами *Neurospora crassa*, ендоефітами *Fusarium solani*, термофілами *Thermoascus thermophilus*, сапротрофами *Cladosporium cladosporioides* тощо. Описані різні способи синтезу наночастинок срібла, селену, заліза, діоксиду кремнію, оксиду цинку, фериту кобальту з використанням дріжджів роду *Saccharomyces*, *Magnusiomyces*, *Pichia*.

Показано різні підходи авторів до параметрів біогенного синтезу наночастинок з використанням мікроорганізмів (різні температурні параметри, зміна рН, тривалість процесу тощо). Наведено дані щодо різних способів використання біологічної системи для синтезу наночастинок — застосування культуральної рідини, безклітинного супернатанту або безклітинного екстракту. Визначено морфологічні характеристики та розміри біогенних наночастинок, можливі механізми їх синтезу, а також властивості та галузі застосування.

Ключові слова: наночастки, біогенний синтез, бактерії, гриби, дріжджі.

Постановка проблеми. Нині зростає інтерес дослідників до наночастинок різних елементів, оскільки вони виявляють властивості, які суттєво відрізняються від властивостей самої сполуки у формі суцільних фаз або макроскопічних дисперсій. Це дає змогу використовувати їх у різних галузях — медицині, сільському господарстві, харчовій промисловості, хімічній та нафтохімічній промисловості, електроніці. Наночастки використовують для створення електрохімічних сенсорів і біосенсорів, розробки ефективних сорбентів, антикорозійних покриттів, провідників, полімерних матеріалів, антимікробних засобів, дезінфікуючих розчинів тощо [1; 2].

Наночастки металів можна отримати фізичними і хімічними методами, проте вони мають ряд недоліків, зокрема використання агресивних, токсичних і

дороговартісних реагентів [3]. В останні роки активно розвивається нова галузь нанобіотехнологій, яка включає використання біологічних об'єктів в ряді біохімічних і біофізичних процесів. Що стосується біогенного синтезу наночастинок, то велика зацікавленість цим способом обумовлена його екологічністю й економічною ефективністю. Тому **метою цього огляду** є аналіз сучасної наукової літератури щодо можливостей використання бактерій, грибів і дріжджів для біосинтезу наночастинок, їхніх властивостей та перспектив можливого застосування.

Викладення основних результатів дослідження. *Наночастки та їх застосування.* Наночастки визначаються як тверді дисперсійні частинки з розмірами в діапазоні від 10 до 100 нм. У літературі зустрічаються дані щодо наночастинок різних металів — золота, срібла, міді, заліза, платини, паладію, цинку, титану тощо [4].

Наночастки золота (AuNPs) використовують в електроніці, де їх застосовують для отримання провідників з низьким опором. Такі провідники мають ряд переваг: більша гнучкість і більш низька температура плавлення. Також існує можливість використання наночастинок золота як протиракових агентів [5].

Досліджується можливість застосування наночастинок срібла (AgNPs) в антибактеріальній і протигрибковій терапії. Показано, що вони індукують синтез активних форм кисню, які викликають незворотні пошкодження бактерій, а також мають сильну спорідненість до зв'язування з ДНК або РНК, що перешкоджає процесу реплікації мікроорганізмів [6; 7].

Є повідомлення про можливість використання наночастинок міді (CuNPs) як антибактеріальних агентів. При одночасному використанні наночастинок міді і срібла спостерігається збільшення їхньої антибактеріальної активності, при цьому бактерицидний ефект залежить від розміру наночастинок [8].

Наночастки заліза (FeNPs) можуть бути використані для відновлення важких металів, таких як ртуть, нікель, кадмій, свинець і хром, органічних розчинників (трихлоретену), а також для деградації органічних барвників (бромфеноловий синій, метиленовий синій), які є одними з основних забруднювачів стічних вод текстильної промисловості. Також є дані про вплив наночастинок заліза на деградацію фосфор- та хлороорганічних інсектицидів [9].

Сучасна хімія широко використовує дорогі каталізатори на основі металів платинової групи. Наночастки платини (PtNPs) володіють високою каталітичною активністю, тому вони використовуються для каталізу та у технології паливних елементів. У паливних елементах платина використовується як катод і діє як кисневий редуктор. Платина може бути використана як анод, при цьому вона окислює різні види палива [10; 11].

Паладій є одним з універсальних каталізаторів, але хімічний синтез наночастинок паладію (PdNPs) здійснюють при високих температурах (160—200°C) і з використанням токсичних відновників, наприклад, боргідриду натрію. PdNPs використовують як каталізатор у реакції Судзукі-Міяури, яку застосовують в органічній хімії для отримання поліолефінів, стиролів, а також заміщених біфенілів. Крім того, паладій є каталізатором у реакції Мізорокі-Хека, яку використовують для промислового синтезу ряду важливих сполук (гербіцид просульфурон, протизапальний препарат напроксен, протиастматичний препарат сингуляр та ін.) [12].

Наночастки оксиду цинку (ZnONPs) проявляють досить сильну антимікробну активність, проте вона залежить від їхнього розміру і форми, що робить їх специфічними для практичного застосування. Бажаний розмір і форма ZnONPs можуть бути отримані за допомогою процесу оптимізації мікробного синтезу. Наночастки цинку використовують в електроніці, оптиці, біомедицині та сільському господарстві [13].

Нині досить широко застосовують наночастки діоксиду титану (TiO₂NPs) як добавки в сонцезахисні засоби, фарби, гуму, папір, цемент, зубну пасту, пластикову упаковку, біомедичну кераміку, біоматеріали для імплантатів. Також доведена їхня антимікробна активність [14].

Наночастки можна використовувати при створенні електрохімічних датчиків і біосенсорів. Так, розроблені наносенсори для виявлення токсинів водоростей, мікобактерій та ртуті у питній воді, наносенсори для гормональної регуляції, виявлення вірусів, визначення різних речовин у ґрунті і для зондування розподілу ауксинів та кисню [2].

Синтез наночасток з використанням бактерій. Мікробний синтез наночасток є підходом так званої «зеленої хімії», який пов'язує нанотехнології і мікробні біотехнології. Цей метод є екологічно чистим та альтернативним порівняно з хімічними і фізичними методами. Бактерії здатні відновлювати іони металів у металеві наночастки за участю ферментів та інших сполук, які ними продукуються. При використанні прокаріотів можливий як внутрішньо-, так і позаклітинний синтез наночасток. При цьому внутрішньоклітинний синтез наночасток вимагає додаткових етапів виділення, зокрема руйнування клітин фізичними чи хімічними методами для вивільнення синтезованих наночасток [15].

Китайські вчені дослідили синтез наночасток золота з використанням *Rhodospseudomonas capsulata*. Автори спостерігали позаклітинний синтез AuNPs і припустили, що саме білки безклітинного екстракту беруть участь у біоредукції і синтезі наночасток золота. При цьому при більш низькій концентрації іонів золота формувались виключно сферичні AuNPs з розмірами від 10 до 20 нм, а при більш високій — нанопроволоки 50—60 нм із сітчастою структурою [16]. Johnston зі співавтор. показали можливість синтезу наночасток золота бактеріями *Delftia acidovorans*, які були виділені з ґрунту. Ці мікроорганізми синтезують нерибосомний пептид делфтібактин, який відповідає за генерацію AuNPs [17].

У літературі наявна невелика кількість повідомлень про синтез бактеріями наночасток паладію. Так, бактерії роду *Pseudomonas* sp., що були виділені із забрудненого солями важких металів ґрунту, здатні синтезувати каталітично активні PdNPs, які можуть здійснювати реакції дегалогенування та гідрування [18]. Також із забрудненого важкими металами ґрунту були виділені бактерії *Cupriavidus necator* ATCC 43291 і *Pseudomonas putida* ATCC 12633. Sobjerg із співавтор. показали можливість їх використання для біосинтезу наночасток паладію. Автори підтвердили високу каталітичну активність біогенних PdNPs під час реакцій дегалогенування поліхлорованих діоксинів [12]. Wang із колегами із стічних вод гальванічного виробництва виділили грамнегативні бактерії *Citrobacter freundii* JH і показали їхню здатність до синтезу наночасток паладію. Автори пояснюють цей механізм різними молекулярними реакціями у клітині, ключову роль у яких відіграють гідрогенази та NADH-дегідрогенази [19].

Показано можливість внутрішньоклітинного синтезу вискодисперсних наночасток срібла упродовж 24 год бактеріями *Bacillus licheniformis*, які були виділені із стічних вод [20]. Внутрішньоклітинний синтез AgNPs спостерігали у *Bacillus* sp., але тривалість синтезу становила 7 днів [21]. Shahverdi зі співавтор. для біосинтезу наночасток було запропоновано використовувати супернатант бактеріальної культури. При цьому тривалість синтезу AgNPs скоротилась до 5 хв [22]. Можливість позаклітинного синтезу наночасток срібла довели Das з колегами. Вони спостерігали синтез AgNPs розміром 42—92 нм у супернатанті *Bacillus* sp. при кімнатній температурі упродовж 24 год [23].

Також досліджено біогенний синтез наночасток срібла бактеріями, які є продуцентами поверхнево-активних речовин (ПАР). Так, Plaza зі співавторами дослідили синтез наночасток срібла *Bacillus subtilis* T-1, які продукують ліпопептиди. При цьому бактерії культивували на відходах пивоварного виробництва [24]. Нині є велика кількість публікацій про синтез ПАР *Acinetobacter calcoaceticus* [25; 26]. Перше повідомлення про синтез AgNPs з використанням *A. calcoaceticus* LRVP54 вийшло у 2013 році. При цьому автори показали суттєвий синергізм дії біогенних наночасток срібла й антибіотиків стосовно антибіотикостійких штамів бактерій [27]. ПАР здатні синтезувати і бактерії роду *Rhodococcus* [28]. Otari з колегами дослідили синтез AgNPs клітинами *Rhodococcus* sp. NCIM 2891 і припустили, що саме клітинні ферментні системи відіграють головну роль у процесі біосинтезу наночасток [29].

Sintubin із співавтор. довели можливість синтезу наночасток срібла молочно-кислими бактеріями — *Lactobacillus* spp., *Pediococcus pentosaceus*, *Enterococcus faecium* та *Lactococcus garvieae*. Автори виявили двоетапний процес формування AgNPs. На першому етапі іони срібла накопичуються у клітинній стінці шляхом біосорбції, а потім відбувається їх подальше відновлення з утворенням металевих наночасток [30].

Позаклітинний синтез AgNPs ендofітними бактеріями *Isoptericola* sp. SYSU 333150 під дією сонячного світла дослідили Dong із колегами. При цьому тривалість синтезу склала 4 хв, а за відсутності сонячного світла тривалість реакції збільшилась у 45 разів. Синтезовані наночастки мали антибактеріальну активність щодо *Staphylococcus warneri* ATCC 27836. Автори встановили, що механізм антистафілококової дії полягав у здатності AgNPs руйнувати ДНК бактерій за рахунок взаємодії із сіркою та фосфором, які наявні у цій нуклеїновій кислоті [6].

Складним є синтез наночасток міді, оскільки мідь нестабільна у нанометровому діапазоні розмірів і досить швидко окислюється, утворюючи оксид міді. У 2013 р. запропоновано біологічний спосіб синтезу CuNPs з використанням *Morganella morganii* RP42. Автори пояснюють, що механізм такого синтезу полягає в тому, що *M. morganii* синтезують наночастки міді внутрішньоклітинно шляхом поглинання іонів міді і подальшого їх зв'язування з металічною редуктазою або іншим подібним білком. Це призводить до відновлення іону міді до металевого Cu(0), який виводиться з клітини і накопичується у культуральному середовищі [8]. Інші дослідники довели здатність *Morganella* sp. до позаклітинного синтезу наночасток срібла [31].

Taran зі співавтор. підтвердили можливість використання бактерій *Halomonas elongata* IBRC-M для позаклітинного синтезу наночасток оксиду цинку і діо-

ксиду титану. Слід наголосити, що автори не виявили антибактеріальної активності в отриманих TiO₂NPs, на відміну від ZnONPs, які показали сильну антимікробну активність щодо антибіотикостійких штамів *Escherichia coli* ATCC 25922 і *Staphylococcus aureus* ATCC 43300. Антибактеріальна активність наночасток цинку обумовлена пошкодженням клітинної стінки, що призводить до можливості проникнення ZnONPs у клітину, де вони активують продукцію активних форм кисню (гідроксидні і супероксидні аніони, перекис водню) [32].

Нещодавно вийшла публікація про синтез наночасток діоксиду титану *Streptomyces* sp. HC1. Досліджувані TiO₂NPs мали сферичну форму з розмірами 30—70 нм. Автори довели їхню антимікробну активність проти *S. aureus* ATCC 29213, *E. coli* ATCC 35218, *Candida albicans* ATCC 10231, *Aspergillus niger* ATCC 6275, а також здатність руйнувати біоплівку *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 [14].

У табл. 1. наведена узагальнена інформація щодо параметрів біосинтезу різних наночасток металів за допомогою бактерій.

Таблиця 1. Застосування бактерій для біосинтезу наночасток

| Бактерії | Наночастки | Параметри біосинтезу | Характеристика наночасток | Джерело |
|----------------------------------|------------|---|--------------------------------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <i>R. capsulata</i> | AuNPs | Безклітинний екстракт, 0,05 М тетрахлораурату водню 30°C, рН 6, 48 год | Мереживні наноструктури, 50—60 нм | [16] |
| <i>D. acidovorans</i> | | Культуральна рідина, 100 мкМ хлориду золота, 30 хв | Октаедричні пластинки* | [17] |
| <i>Pseudomonas</i> sp. | PdNPs | Культуральна рідина, 0,25 мМ формиату натрію, 0,25—0,5 мМ тетрахлорпаладату натрію, 28°C, 12 год, анаеробні умови | Дисперсні, 4—20 нм | [18] |
| <i>C. freundii</i> JH | | Культуральна рідина, 5 мМ формиату натрію, 10 мг/л тетрахлорпаладату натрію, 30°C, 120 об/хв, 10 год, анаеробні умови | Дисперсні нанокристали, 10 нм | [19] |
| <i>B. subtilis</i> T-1 | AgNPs | Безклітинний супернатант, 1 мМ нітрату срібла, 21—25°C, 200 об/хв, 48 год | Сферичні, 13—19 нм | [24] |
| <i>Rhodococcus</i> sp. NCIM 2891 | | Культуральна рідина, 3 мМ нітрату срібла, 22°C, 130 об/хв, 18 год, без доступу світла | Сферичні, середній розмір 10 нм | [29] |
| <i>A. calcoaceticus</i> LRVP54 | | Безклітинний супернатант, 0,7 мМ нітрату срібла, 70°C, 24 год, статичні умови | Монодисперсні сферичні, 8—12 нм | [27] |
| <i>Isoptericola</i> sp. | | Безклітинний супернатант, 0,002 М нітрату срібла, 22°C, дія сонячного світла 4 хв | Сферичні, 11—40 нм | [6] |
| <i>M. morgani</i> RP42 | CuNPs | Культуральна рідина, 5 мМ сульфату міді, 37°C, 20 год | Квазісферичні, середній розмір 19 нм | [8] |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------|----------------------|---|---|------|
| <i>H. elongata</i> IBRC-M | TiO ₂ NPs | Безклітинний супернатант, 0,1 М метатитанової кислоти 37°C, 120 об/хв, 96 год | Сферичні, середній розмір 105 нм | [32] |
| | ZnONPs | Безклітинний супернатант, 0,01 М хлориду цинку 37°C, 120 об/хв, 96 год | Різної форми, середній розмір 18 нм | |
| <i>Streptomyces</i> sp. HC1 | TiO ₂ NPs | Культуральна рідина, 0,025 М метатитанової кислоти, 60°C, 30 хв, pH 6,5 | Сферичні, 30—70 нм | [14] |

Примітка: * — дані щодо розміру не вказані.

Використання грибів для синтезу наночасток. На сьогодні досліджуються механізми синтезу наночасток з використанням різних видів грибів. Загальні ж принципи зводяться до того, що солі металів у розчині дисоціюють на відповідні іони, які навіть при відносно низьких концентраціях є токсичними для грибкових клітин. Тому клітини виділяють NADH-залежний фермент, який окислюється до NAD⁺ і нейтралізує іони шляхом відновлення. Потім відбувається формування наночасток і їх стабілізація [33].

Міцеліальні гриби здатні до внутрішньо- та позаклітинного синтезу широкого спектра металевих наночасток. Так, Bhainsa із співавтор. здійснили позаклітинний синтез наночастинок срібла з використанням *Aspergillus fumigatus*. При цьому час експозиції становив 10 хв, а розміри наночасток були в діапазоні 5—25 нм [34]. Крім того, підтверджено здатність *Trichoderma reesei* до позаклітинної продукції AgNPs упродовж 72 год, але наночастки були неоднорідні і мали розмір 5—50 нм [35]. Виявлено, що гриби *Coriolus versicolor* можуть здійснювати внутрішньо- і позаклітинний синтез наночасток срібла [36]. Lafta з колегами здійснили синтез AgNPs з використанням міцелію *Cladosporium cladosporioides*. Науковці виявили антимікробну дію біогенних наночасток срібла щодо грибів *Trichophyton rubrum* та *Trichophyton mentagrophytes*, які спричинюють оніхомікоз [7]. У 2013 р. з'явилось перше повідомлення про можливість використання термофільних грибів *Humicola* sp. для біосинтезу сферичних позаклітинних наночасток срібла [37].

Нещодавно вийшла публікація про можливість використання *Fusarium scirpi* для позаклітинного біосинтезу AgNPs. Отримані наночастки були квазісферичними з розмірами 2—20 нм. Автори встановили їхню антибактеріальну активність стосовно уропатогенних біоплівок *E. coli* [38].

Показано здатність термофільних грибів (*Rhizomucor pusillus* ATCC 42782, *Sporotrichum thermophile* ATCC 36347, *Thermoascus thermophilus* ATCC 26413, *Thermomyces lanuginosus* ATCC 46882) до синтезу наночасток золота. Авторами виявлено два етапи синтезу AuNPs цими грибами: перший — відновлення Au (III) до Au (0), другий — подальша стабілізація наночасток за допомогою стабілізуючих білків. При цьому автори не виявили специфічних стабілізуючих білків [39].

Є дані про позаклітинний синтез ендofітним штамом *Fusarium solani* ATLOY-8 наночасток золота розміром 40—45 нм. Такі AuNPs показали проти-

пухлинну активність щодо перещеплених клітин HeLa (рак шийки матки) та MCF-7 (рак молочної залози) [5]. Mukherjee зі співавт. спостерігали синтез наночастинок золота з використанням *Verticillium* sp., при цьому AuNPs були локалізовані на поверхні міцелію [40].

Castro-Longoria з колегами виявили здатність аскоміцетних грибів *Neurospora crassa* до синтезу наночастинок платини. При внутрішньоклітинному синтезі спостерігали формування окремих PtNPs з розмірами 4—35 нм і сферичних наноагрегатів діаметром 20—110 нм; при позаклітинному результати аналогічні, але розміри наночастинок були у діапазоні 17-76 нм [10]. Позаклітинний синтез наночастинок платини виявили також і у *Fusarium oxysporum*. При цьому автори встановили, що зміна температури впливає на швидкість синтезу наночастинок, а незначна зміна рН може призводити до інгібування утворення PtNPs [11].

Позаклітинний синтез наночастинок міді ізольованими із ґрунту грибами *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium citrinum* і *Penicillium waksmanii* дослідили іранські дослідники. Синтез CuNPs здійснювали при температурі 28°C у діапазоні рН 5—9, використовуючи три концентрації сульфату міді: 1, 3 та 5 мМ. Всі вказані параметри впливали на розмір синтезованих наночастинок, але прямої кореляції до їх збільшення чи зменшення виявлено не було. Три вказані види пеніцилових грибів синтезували наночастки міді з розмірами від 80 до 295 нм залежно від досліджуваного параметра і виду *Penicillium* [41].

Виявлено здатність *Aspergillus niger* до позаклітинного синтезу наночастинок оксиду цинку, які показали антибактеріальну активність щодо *S. aureus* і *E. coli*. Автори довели можливість використання біогенних ZnONPs для очистки стічних вод [42]. В іншому повідомленні виявлено антиоксидантну, антимікробну (*E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter aerogenes*) і протиракову (НерG2, гепатокарцинома людини) активність ZnONPs, що були синтезовані з використанням *A. niger* [43].

Нижче наведена узагальнена інформація про біосинтез наночастинок з використанням грибів (табл. 2).

Таблиця 2. Біосинтез наночастинок міцеліальними грибами

| Гриби | Наночастки | Параметри біосинтезу | Характеристика наночастинок | Джерело |
|---------------------------|------------|---|--|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <i>C. cladosporioides</i> | AgNPs | Вологий міцелій, 1 мМ нітрату срібла, 28°C, 200 об/хв, 72 год | Різна форма, 5—50 нм | [7] |
| <i>F. scirpi</i> | | Безклітинний супернатант, 1 мМ нітрату срібла, 28°C, 180 об/хв, 168 год, без доступу світла | Квазісферичні, 2—20 нм | [38] |
| <i>F. solani</i> ATLOY-8 | AuNPs | Безклітинний екстракт, рН 8,5; 1 мМ тетрахлораурату водню, 48 год, без доступу світла | Голкоподібні структури скупчені у конгломерати, 40—45 нм | [5] |
| <i>Verticillium</i> sp. | | Промитий міцелій, 0,1 мМ тетрахлораурату водню, 28°C, 200 об/хв, 72 год | Розмір — близько 20 нм* | [40] |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------------------|--------|---|--|------|
| <i>N. crassa</i> | PtNPs | Промитий міцелій, 1 мМ гексахлорплатинової кислоти, 28°C, 200 об/хв, 24 год, без доступу світла | Сферичні, локалізовані у цитоплазмі, 20—110 нм | [10] |
| | | Грибний екстракт (умови наведені вище) | Сферичні, 17—76 нм | |
| <i>F. oxysporum</i> | | Промитий міцелій, 12 мМ гексахлорплатинової кислоти, 65°C, рН 5, 72 год, без доступу світла | Поліморфні, 10—100 нм | [11] |
| <i>P. aurantio-griseum</i> | CuNPs | Безклітинний супернатант, 3 мМ сульфату міді, рН 6 28°C, 120 об/хв, 24 год | Сферичні, 184 нм | [41] |
| <i>P. citrinum</i> | | | Сферичні, 160 нм | |
| <i>P. waksmanii</i> | | | Сферичні, 91 нм | |
| <i>A. niger</i> | ZnONPs | Безклітинний супернатант, 5 мМ нітрату цинку, 37°C, 200 об/хв, 48 год | Сферичні, 53—69 нм | [42] |
| | | Безклітинний супернатант, 1 мМ ацетату цинку, постійне перемішування, 24 год | Паличкоподібні, скупчені у конгломерати, 80—130 нм | [43] |

Примітка: * — дані щодо форми наночастинок не вказані.

Дріжджі як джерело отримання наночастинок. Крім таких мікроорганізмів, як бактерії і гриби, для біосинтезу наночастинок використовують і дріжджі. Вони містять мембранозв'язані оксидоредуктази і хінони, що відіграють ключову роль у синтезі наночастинок металів. При збільшенні рН всередині дріжджової клітини відбувається активація редуктаз, які відновлюють іони металів при одночасному синтезі наночастинок. Хінони дріжджової клітини характеризуються нуклеофільними та окисно-відновними властивостями і також беруть участь у відновленні іонів металів і перетворенні їх у наночастки [44].

Нещодавно було показано можливість використання дріжджового екстракту для біосинтезу наночастинок срібла. Автори не наводять дані щодо роду та виду використання у дослідженнях дріжджів. Синтезовані AgNPs показали антимікробну дію щодо ампіцилін-стійких клітин *E. coli*. Науковці пояснюють антибактеріальний ефект взаємодією наночастинок срібла з пептидогліканом клітинної стінки *E. coli*, що призводить до зміни конфігурації пептидоглікану, збільшення проникності клітинної стінки й апоптозу клітини. При цьому синтезовані AgNPs показали низьку цитотоксичність на перещеплюваній культурі клітин Cos-7, що робить можливим їх подальше використання в медицині [45].

Mehrotra зі співавтор. отримали наночастки заліза, використовуючи для біосинтезу комерційний дріжджовий екстракт. Можливий механізм синтезу FeNPs автори пояснюють наявністю в екстракті ферментів та сірковмісних білків, які діють як відновники і перетворюють Fe^{3+} у Fe^0 . Після цього Fe^0 формує сферичні наночастки, які покривають сірковмісні білки, забезпечуючи таким чином їхню стабільність [9].

Вперше можливість використання біогенних наночастинок діоксиду кремнію (SiO_2 NPs) при видобутку нафти підтвердили Zamani зі співавтор. Їм вдалось синтезувати SiO_2 NPs з розмірами 6—25 нм, використовуючи дріжджі *Saccharomyces*

cervisiae PTCC 5269. Автори довели, що на відміну від хімічно синтезованих наночастинок діоксиду кремнію, біогенні SiO_2NPs здатні сильно знижувати міжфазовий натяг. При цьому ефективність видобутку нафти збільшується на 5—7% [46].

Внутрішньоклітинний синтез наночастинок селену (SeNPs) дріжджами *S. cerevisiae* виявили Fagamarzi з колегами. Вони встановили, що найбільш стабільні і з мінімальними розмірами SeNPs (75 нм) формувались при додаванні у середовище культивування дріжджів мінімальної кількості (5 мкг) селеніту натрію. При збільшенні його кількості у 5 разів спостерігали синтез наночастинок, розмір яких був у 9 разів більшим, а їхня антиоксидантна активність зменшувалась на 43% [47].

Китайські вчені дослідили позаклітинний синтез SeNPs з використанням дріжджів *Magnusiomyces ingens* LH-F1. Для синтезу наночастинок використовували безклітинний дріжджовий екстракт. Автори припускають, що у синтезі наночастинок селену можуть брати участь гідроксильні, карбоксильні та амінні групи білків, що містяться у безклітинних дріжджових екстрактах. На поверхні SeNPs були виявлені два білки з молекулярною масою близько 16 і 21 кДа, які, можливо, відіграють роль природних стабілізаторів, в той час як незв'язані білки можуть діяти як відновники [48].

Можливість синтезу наночастинок фериту кобальту ($\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{NPs}$) з використанням дріжджів довели індійські вчені. На жаль, у дослідженні автори не вказали рід і вид дріжджів. Синтез $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{NPs}$ здійснювали з використанням нітрату заліза (III) та нітрату кобальту. Наночастки мали кубічну форму з розмірами кристалів 44 нм та проявляли феромагнітні властивості [49].

Chauhan зі співор. виявили здатність *Pichia fermentans* JA2 до позаклітинного синтезу наночастинок срібла й оксиду цинку. При цьому біосинтез AgNPs здійснювали за температури 28°C, а ZnONPs — 37°C. Біогенні наночастки срібла володіли антибактеріальною активністю щодо бактерій *E. coli*, *Salmonella* sp., *P. aeruginosa* та грибів *Fusarium* sp., *Scedosporium* sp. JAS1, *Aspergillus terreus* JAS1, в той час як наночастки оксиду срібла проявили антибактеріальну активність лише щодо *P. aeruginosa* та протигрибкову активність щодо *Fusarium* sp., *Ganoderma* sp. JAS4, *A. terreus* JAS1 [50].

Узагальнена інформація щодо параметрів біосинтезу наночастинок вказаними вище дріжджами наведена у табл. 3.

Таблиця 3. Використання дріжджів для біосинтезу наночастинок

| Дріжджі | Наночастки | Параметри біосинтезу | Характеристика наночастинок | Джерело |
|--------------------------------|--------------------------|---|---------------------------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Дріжджі* | AgNPs | Безклітинний екстракт, нітрат срібла, рН 10, інтенсивне перемішування | Сферичні, 10—19 нм | [45] |
| Дріжджі* | FeNPs | Безклітинний екстракт, 1 мМ хлориду заліза, інтенсивне перемішування | Полікристалічні кільця, 2—10 нм | [9] |
| <i>S. cerevisiae</i> PTCC 5269 | SiO_2NPs | Культуральна рідина, 0,1 М силікату натрію, 29°C, 96 год | Більшість сферичні, 40—70 нм | [46] |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------------|------|
| <i>S. cerevisiae</i> | SeNPs | Культуральна рідина, 5 мкг селеніту натрію, 96 год | Сферичні, 75 нм | [47] |
| <i>M. ingens</i> LH-F1 | | Безклітинний екстракт, 2 мМ оксиду селену, постійне перемішування, 30°C | Сферичні і квазісферичні, 70—90 нм | [48] |
| Дріжджі* | CoFe ₂ O ₄ NPs | Культуральна рідина, 0,2 М нітрату заліза (III), 0,15—0,25 М нітрату кобальту (II), постійне перемішування, 50°C, pH 6, 12 год | Кубічні, 44 нм | [49] |
| <i>P. fermentans</i> JA2 | AgNPs | Безклітинний супернатант, 1 мМ нітрату срібла, 28°C, 200 об/хв, 96 год | Прямокутна форма, гладенькі | [50] |
| | ZnONPs | Безклітинний супернатант, 0,1 г оксиду цинку, 37°C, 200 об/хв, 24—48 год | | |

Примітка: * — рід і вид дріжджів не вказаний.

Висновки

В огляді описані різні варіанти використання бактерій, грибів і дріжджів для біосинтезу різних наночастинок. Їх отримання за допомогою мікроорганізмів є екологічно чистим та економічно вигідним, оскільки відпадає необхідність у використанні токсичних і дорогих матеріалів. Слід наголосити, що біогенний спосіб дає змогу отримувати наночастки з різною формою та розмірами, що досягається різними умовами, такими як зміна температури, pH, часу культивування, концентрації солей металів або інших елементів тощо. На відміну від наночастинок, отриманих хімічним чи фізичним методом, біогенні наночастки містять на поверхні біомолекули, що робить їх біосумісними і надає можливість використовувати у медицині та суміжних галузях.

Література

- Sharma D., Kanchi S., Bisetty K. Biogenic synthesis of nanoparticles: a review. *Arabian J. Chem.* 2019, 12 (8): 3576—3600. doi: 10.1016/j.arabjc.2015.11.002.
- Romero M. R., Picchio M. L. Biosensors based on nanomaterials: transducers and modified surfaces for diagnostics. In: Chandra P., Prakash R. (eds) *Nanobiomaterial Engineering*. 2020, Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-32-9840-82.
- Amini S. M. Preparation of antimicrobial metallic nanoparticles with bioactive compounds. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 2019, 103: 109809. doi: 10.1016/j.msec.2019.109809.
- Thakkar K. N., Mhatre S. S., Parikh R. Y. Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine*. 2010, 6 (2): 257—2562. doi: 10.1016/j.nano.2009.07.002.
- Clarance P., Luvankar B., Sales J., Khusro A., Agastian P., Tack J. C., Al Khulaifi M. M., Al-Shwaiman H. A., Elgorban A. M., Syed A., Kim H. J. Green synthesis and characterization of gold nanoparticles using endophytic fungi *Fusarium solani* and its in-vitro anticancer and biomedical applications. *Saudi J. Biol. Sci.* 2020, 27 (2): 706—712. doi: 10.1016/j.sjbs.2019.12.026.
- Dong Z. Y., Narsing Rao M. P., Xiao M., Wang H. F., Hozzein W. N., Chen W., Li W. J. Antibacterial activity of silver nanoparticles against *Staphylococcus warneri* synthesized using endophytic bacteria by photo-irradiation. *Front. Microbiol.* 2017, 8: 1090. doi: 10.3389/fmicb.2017.01090.
- Lafta A. K., Ajah H. A., Dakhil O. A. A., Al-Wattar W. M. A. Biosynthesis of silver nanoparticles using biomass of *Cladosporium cladosporioides* and antifungal activity against pathogenic fungi causing onychomycosis. *Plant Archives*. 2019, 19 (2): 4391—4396.

8. Ramanathan R., Field M. R., O'Mullane A. P., Smooker P. M., Bhargava S. K., Bansal V. Aqueous phase synthesis of copper nanoparticles: a link between heavy metal resistance and nanoparticle synthesis ability in bacterial systems. *Nanoscale*. 2013, 5 (6): 2300—2306. doi: 10.1039/c2nr32887a.
9. Mehrotra N., Tripathi R. M., Zafar F., Singh M. P. Catalytic Degradation of dichlorvos using biosynthesized zero valent iron nanoparticles. *IEEE Trans. Nanobioscience*. 2017, 16 (4): 280—286. doi: 10.1109/tmb.2017.2700232.
10. Castro-Longoria E., Moreno-Velazquez S. D., Vilchis-Nestor A. R., Arenas-Berumen E., Avalos-Borja M. Production of platinum nanoparticles and nanoaggregates using *Neurospora crassa*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 2012, 22 (7): 1000—1004. PubMed PMID: 22580320. doi: 10.4014/jmb.1110.10085.
11. Riddin T. L., Gericke M., Whiteley C. G. Analysis of the inter- and extracellular formation of platinum nanoparticles by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* using response surface methodology. *Nanotechnology*. 2006, 17 (14): 3482—3489. doi: 10.1088/0957-4484/17/14/021.
12. Sobjerg L. S., Gauthier D., Lindhardt A. T., Bunge M., Finster K., Meyer, R. L., Skrydstrup T. Bio-supported palladium nanoparticles as a catalyst for Suzuki-Miyaura and Mizoroki-Heck reactions. *Green Chem.* 2009, 11 (12): 2041—2046. doi:10.1039/b918351p.
13. Mohd Yusof H., Mohamad R., Zaidan U. H., Abdul Rahman N. A. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2019, 10: 57. doi: 10.1186/s40104-019-0368-z.
14. Agceli G. K., Hammachi H., Kodal S. P., Cihangir N., Aksu Z. A novel approach to synthesize TiO₂ nanoparticles: biosynthesis by using *Streptomyces* sp. HCl1. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2020. doi: 10.1007/s10904-020-01486-w.
15. Plaza G. A., Chojniak J., Banat I. M. Biosurfactant mediated biosynthesis of selected metallic nanoparticles. *Int. J. Mol. Sci.* 2014, 15 (8): 13720—13737. doi: 10.3390/ijms150813720.
16. He S., Zhang Y., Guo Z., Gu N. Biological synthesis of gold nanowires using extract of *Rhodospseudomonas capsulata*. *Biotechnol. Prog.* 2008, 24 (2): 476—480. doi: 10.1021/bp0703174.
17. Johnston C. W., Wyatt M. A., Li X., Ibrahim A., Shuster J., Southam G., Magarvey N. A. Gold biomineralization by a metallophore from a gold-associated microbe. *Nat. Chem. Biol.* 2013, 9 (4): 241—243. doi: 10.1038/nchembio.1179.
18. Schluter M., Hentzel T., Suarez C., Koch M., Lorenz W. G., Bohm L., Doring R. A., Koinig K. A., Bunge M. Synthesis of novel palladium(0) nanocatalysts by microorganisms from heavy-metal-influenced high-alpine sites for dehalogenation of polychlorinated dioxins. *Chemosphere*. 2014, 117: 462—470. doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.07.030.
19. Wang J., Bi S., Chen Y., Hu Y. Electron transfer involved in bio-Pd (0) synthesis by *Citrobacter freundii* at different growth phases. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2020, 190: 110124. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.110124.
20. Kalimuthu K., Suresh Babu R., Venkataraman D., Bilal M., Gurunathan S. Biosynthesis of silver nanocrystals by *Bacillus licheniformis*. *Colloids. Surf. B Biointerfaces*. 2008, 65 (1): 150—153. doi: 10.1016/j.colsurfb.2008.02.018.
21. Pugazhenthiran N., Anandan S., Kathiravan G., Prakash N. K. U., Crawford S., Ashokkumar M. Microbial synthesis of silver nanoparticles by *Bacillus* sp. *J. Nanopart. Res.* 2009, 11: 1811. doi: 10.1007/s11051-009-9621-2.
22. Shahverdi A. R., Minaeian S., Shahverdi H. R., Jamalifar H., Nohi A. A. Rapid synthesis of silver nanoparticles using culture supernatants of *Enterobacteria*: a novel biological approach. *Proc. Biochem.* 2007, 42 (5): 919—923. doi: 10.1016/j.procbio.2007.02.005.
23. Das V. L., Thomas R., Varghese R. T., Soniya E. V., Mathew J., Radhakrishnan E. K. Extracellular synthesis of silver nanoparticles by the *Bacillus* strain CS 11 isolated from industrialized area. *3 Biotech.* 2014, 4 (2): 121—126. doi: 10.1007/s13205-013-0130-8.
24. Plaza G. A., Chojniak J., Mendrek B., Trzebicka B., Kvitsek L., Panacek A., Pucek R., Zboril R., Paraszkiwicz K., Bernat P. Synthesis of silver nanoparticles by *Bacillus subtilis* T-1 growing on agro-industrial wastes and producing biosurfactant. *IET Nanobiotechnol.* 2016, 10 (2): 62—68. doi: 10.1049/iet-nbt.2015.0016.

25. Пирог Т. П., Савенко І. В., Шевчук Т. А. Влияние Zn^{2+} на синтез поверхностноактивных веществ *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 с антимикробными и антиадгезивными свойствами. *Мікробіол. журн.* 2016, 78 (4): 48—58.
26. Pirog T. P., Lutsai D. A., Antonuk S. I., Elperin I. V. The properties of surfactants synthesized by *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 on refined and waste sunflower oil. *Biotechnologia Acta*. 2018, 11 (6): 82—91. doi: 10.15407/biotech11.06.082.
27. Singh R., Wagh P., Wadhvani S., Gaidhani S., Kumbhar A., Bellare J., Chopade B. A. Synthesis, optimization, and characterization of silver nanoparticles from *Acinetobacter calcoaceticus* and their enhanced antibacterial activity when combined with antibiotics. *Int. J. Nanomedicine*. 2013, 8: 4277—90. doi: 10.2147/IJN.S48913.
28. Pirog T. P., Geichenko B. S., Zvarych A. O. Post-harvest treatment of vegetables with exometabolites of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 and *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017 to extend their shelf life. *Biotechnologia Acta*. 2019, 12 (6): 46—55. doi: 10.15407/biotech12.06.046.
29. Otari S. V., Patil R. M., Nadaf N. H., Ghosh S. J., Pawar S. H. Green biosynthesis of silver nanoparticles from an actinobacteria *Rhodococcus* sp. *Mater. Lett.* 2012, 72: 92—94. doi: 10.1016/j.matlet.2011.12.109.
30. Sintubin L., De Windt W., Dick J., Mast J., van der Ha D., Verstraete W., Boon N. Lactic acid bacteria as reducing and capping agent for the fast and efficient production of silver nanoparticles. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2009, 84 (4): 741—749. doi: 10.1007/s00253-009-2032-6.
31. Parikh R. Y., Singh S., Prasad B. L. V., Patole M. S., Sastry M., Shouche Y. S. Extracellular synthesis of crystalline silver nanoparticles and molecular evidence of silver resistance from *Morganella* sp.: towards understanding biochemical synthesis mechanism. *ChemBiochem*. 2008, 9 (9): 1415—1422. doi:10.1002/cbic.200700592.
32. Taran M., Rad M., Alavi M. Biosynthesis of TiO_2 and ZnO nanoparticles by *Halomonas elongata* IBRC-M 10214 in different conditions of medium. *Bioimpacts*. 2018, 8 (2): 81—89. doi: 10.15171/bi.2018.10.
33. Tripathi R. M., Chung S. J. Biogenic nanomaterials: synthesis, characterization, growth mechanism, and biomedical applications. *J. Microbiol. Methods*. 2019, 157: 65—80. doi: 10.1016/j.mimet.2018.12.008.
34. Bhainsa K. C., D'Souza S. F. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Aspergillus fumigatus*. *Colloids Surf. B Biointerfaces*. 2006, 47 (2): 160—164. doi: 10.1016/j.colsurfb.2005.11.026.
35. Vahabi K., Mansoori G. A., Karimi S. Biosynthesis of silver nanoparticles by fungus *Trichoderma reesei* (a route for large-scale production of AgNPs). *Insciences J.* 2011, 1 (1): 65—79. doi:10.5640/insc.010165.
36. Sanghi R., Verma P. Biomimetic synthesis and characterisation of protein capped silver nanoparticles. *Bioresour. Technol.* 2009, 100 (1): 501—504. doi: 10.1016/j.biortech.2008.05.048.
37. Syed A., Saraswati S., Kundu G. C., Ahmad A. Biological synthesis of silver nanoparticles using the fungus *Humicola* sp. and evaluation of their cytotoxicity using normal and cancer cell lines. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2013, 114: 144—147. doi: 10.1016/j.saa.2013.05.030.
38. Rodriguez-Serrano C., Guzman-Moreno J., Angeles-Chavez C., Rodriguez-Gonzalez V., Ortega-Sigala J. J., Ramirez-Santoyo R. M., Vidales-Rodriguez L. E. Biosynthesis of silver nanoparticles by *Fusarium scirpi* and its potential as antimicrobial agent against uropathogenic *Escherichia coli* biofilms. *PLoS One*. 2020, 15 (3): e0230275. doi: 10.1371/journal.pone.0230275.
39. Molnar Z., Bodai V., Szakacs G., Erdelyi B., Fogarassy Z., Safran G., Varga T., Konya Z., Toth-Szeles E., Szucs R., Lagzi I. Green synthesis of gold nanoparticles by thermophilic filamentous fungi. *Sci. Rep.* 2018, 8 (1): 3943. doi: 10.1038/s41598-018-22112-3.
40. Mukherjee P., Ahmad A., Mandal D., Senapati S., Sainkar S. R., Khan M. I., Ramani R., Parischa R., Ajayakumar P. V., Alam M., Sastry M., Kumar R. Bioreduction of $AuCl_4^-$ ions by the fungus, *Verticillium* sp. and surface trapping of the gold nanoparticles formed. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 2001, 40 (19): 3585-3588.
41. Honary S., Barabadi H., Gharaeifathabad E., Naghibi F. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium citrinum* and *Penicillium waksmanii*. *Digest J. Nanomat. Biostruct.* 2012, 7 (3): 999—1005.

42. Kalpana V. N., Kataru B. A. S., Sravani N., Vigneshwari T., Panneerselvam A., Devi Rajeswari V. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using culture filtrates of *Aspergillus niger*: Antimicrobial textiles and dye degradation studies. *Open Nano*. 2018, 3: 48—55, doi: 10.1016/j.onano.2018.06.001.
43. Gao Y., Anand M. A. V., Ramachandran V., Karthikkumar V., Shalini V., Vijayalakshmi S., Ernest D. Biofabrication of zinc oxide nanoparticles from *Aspergillus niger*, their antioxidant, antimicrobial and anticancer activity. *J. Clust. Sci.* 2019, 30: 937—946, doi: 10.1007/s10876-019-01551-6.
44. Skalickova S., Baron M., Sochor J. Nanoparticles biosynthesized by yeast: a review of their application. *Kvasny Prum.* 2017, 63 (6): 290—292. doi: 10.18832/kp201727.
45. Shu M., He F., Li Z., Zhu X., Ma Y., Zhou Z., Yang Z., Gao F., Zeng M. Biosynthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles using yeast extract as reducing and capping agents. *Nanoscale Res. Lett.* 2020, 15: 14, doi: 10.1186/s11671-019-3244-z.
46. Zamani H., Jafari A., Mousavi S. M., Darezereshki E. Biosynthesis of silica nanoparticle using *Saccharomyces cerevisiae* and its application on enhanced oil recovery. *J. Pet. Sci. Eng.* 2020. doi: 10.1016/j.petrol.2020.107002.
47. Faramarzi S., Anzabi Y., Jafarizadeh-Malmiri H. Nanobiotechnology approach in intracellular selenium nanoparticle synthesis using *Saccharomyces cerevisiae* — fabrication and characterization. *Arch. Microbiol.* 2020. doi: 10.1007/s00203-020-01831-0.
48. Lian S., Diko C. S., Yan Y., Li Z., Zhang H., Ma Q., Qu Y. Characterization of biogenic selenium nanoparticles derived from cell-free extracts of a novel yeast *Magnusiomyces ingens*. *3 Biotech.* 2019, 9 (6): 221. doi: 10.1007/s13205-019-1748-y.
49. Vignesh H., Vishnu V., Balakumar P., Raguram T., Rajni K. S. Structural and magnetic properties of cobalt ferrite (CoFe₂O₄) nanoparticles by sol-gel technique using yeast. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019, 577. doi:10.1088/1757-899X/577/1/012092.
50. Chauhan R., Reddy A., Abraham J. Biosynthesis of silver and zinc oxide nanoparticles using *Pichia fermentans* JA2 and their antimicrobial property. *Appl. Nanosci.* 2015, 5: 63—71. doi: 10.1007/s13204-014-0292-7.

THE STATE OF IMPLEMENTATION THE DECENTRALIZATION IN UKRAINE

S. Esh, D. Gerasimenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Decentralization
Reform
United territorial
collectives
Local finance
Local government*

Article history:

Received 14.02.2020
Received in revised form
24.02.2020
Accepted 04.03.2020

Corresponding author:

S. Esh
E-mail:
esh2009@ukr.net

ABSTRACT

The development of local self-government in Ukraine is accompanied by decentralization processes aimed at the effective activity of local authorities and improvement of the socio-economic standard of living of the population. The article examines the current state of decentralization reform in Ukraine. The problems and risks that accompany the processes of decentralization in modern economic conditions are substantiated. Changes in the legal regulation of decentralization reform and their impact on the development of local self-government are considered.

The purpose of the study is to analyze the current state and prospects of decentralization, determine the nature and place of united territorial communities (UTC) in the development of local self-government, substantiate the problems associated with the processes of decentralization and generalized prospects for the further development of UTC in modern economic conditions.

During the study of decentralization processes, common scientific and special methods were used. The methods of comparison and grouping are used to analyze the processes of creation of UTC, the statistical method helps to compare the dynamics of UTC formation on a territorial basis, conduct economic data concerning the financial resources of the community. The methodology of the systematic approach involves a comprehensive study of the factors that accompany and influence decentralization processes. Method of generalization is used in drawing conclusions and recommendations.

The article provides the dynamics of the formation of the UTC over 5 years, the basic and additional criteria, which are needed to determine community capacity, were analyzed, a comparative characterization of the capacity of communities in the regions of Ukraine was conducted and the capacity rating was justified.

СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ

С. М. Еш, Д. Д. Герасименко

Національний університет харчових технологій

Розвиток місцевого самоврядування в Україні супроводжується процесами децентралізації, які направлені на ефективну діяльність органів місцевої влади та підвищення соціально-економічного рівня життя населення. У статті досліджено поточний стан реформи децентралізації в Україні. Обґрунтовано проблеми та ризики, які супроводжують процеси децентралізації в сучасних умовах господарювання. Розглянуто зміни у нормативно-правовому регулюванні реформи децентралізації та їхній вплив на розвиток місцевого самоврядування.

Здійснено аналіз сучасного стану та перспектив розвитку децентралізації, визначення суті та місця ОТГ у розвитку місцевого самоврядування, обґрунтовано оцінку проблем, які пов'язані з процесами децентралізації, та узагальнено перспективи подальшого розвитку ОТГ у сучасних умовах господарювання.

Під час дослідження процесів децентралізації використані загальнонаукові та спеціальні методи. За допомогою методів порівняння та групування аналізуються процеси створення об'єднаних територіальних громад (ОТГ), статистичний метод допомагає порівняти динаміку формування ОТГ за територіальним принципом, провести обробку економічних даних, що стосуються фінансових ресурсів громади. Методологія системного підходу передбачає комплексне вивчення факторів, які супроводжують процеси децентралізації та впливають на них. Під час розробки висновків і рекомендацій використовується метод узагальнення.

Описано динаміку формування ОТГ протягом п'яти років, проаналізовано базові і додаткові критерії, необхідні для визначення спроможності громади, проведено порівняльну характеристику спроможності громад областей України, обґрунтовано рейтинг спроможності.

Ключові слова: *децентралізація, реформування, об'єднані територіальні громади, місцеві фінанси, органи місцевого самоврядування.*

Formulation of the problem. In current realities of economic development of Ukraine, an important question arises about the effective activity of local authorities aimed at the stable prosperity of the socio-economic standard of living of the population. According to the Budget Code of Ukraine, the development of local self-government is connected with the processes of decentralization, which create a mechanism of formation and distribution of financial resources between all levels of the budget system of Ukraine.

Nowadays, all decentralization processes are focused on the creation of integrated territorial communities (hereinafter referred to as UTCs), which should become powerful and capable administrative units. The current standard of living in the city is much higher than the standard of living of people from rural areas. The decentralization processes, the result of which is creation of UTC, should provide comfortable living conditions for residents of all levels and groups.

The united communities concentrate resources within their territory that belong to the community: land, scientific, labor, cultural, infrastructural, etc. The UTC is focused on the necessary level of transportation, medical services, qualitative education, access to household and administrative services, which ensures a sufficient standard of living for the community. In the current conditions of transformation of the Ukrainian economy, decentralization depends on increasing of the level of components of the system of local finances. It also depends on determining the capacity and sufficiency of the UTC, which is achieved by the corresponding increase in the productive and non-productive capacity of the administrative-territorial units.

In order to determine the criteria for community capacity, it is important to know what the main purpose of decentralization reform in Ukraine is: to achieve economic growth, improve democracy or improve the quality of services at the local level.

Analysis of recent research and publications. In Ukraine, the study of decentralization processes is carried out by scientists-economists and scientists-lawyers, whose attention is focused on the formation of local self-government, the study of local revenues and expenditures, and budget planning. Among the scientists the works of V. L. Andrushchenko, D. P. Bogolepova, N. Vasilenko, O. P. Kirilenko, L. V. Lisyak, N. V. Macedonian, L. O. Nikitenko, O. O. Suntsova and others should be mentioned, who have written textbooks on Local Finance, defended their dissertations on the basis of local government research and continue to substantiate the role of local finance in the development of Ukraine's budget system.

Over the past few years, analytical reviews, research and developments related to decentralization have been conducted [1—5]. However, the reform of the country requires significant changes, the processes of decentralization affect the issues of capacity, security, development of all segments of the population. That is why they need further generalization, more thorough research, taking into account new challenges and factors both internal and macro.

The purpose of the article is to analyze the current state of decentralization, to determine the essence and place of UTC in the development of local self-government, to substantiate the prospects for further development of UTC in the current economic conditions.

Statement of the main results of the study. Decentralization as a global restructuring of the governance model in the country began to be discussed since 2015 and assumed the creation of an effective system of territorial organization of government in accordance with the provisions of the European Charter of Local Self-Government. Decentralization reform involves several related reforms: territorial organization of government, local self-government, regional policy and intergovernmental budgetary relations [4]. Since 2015, the self-government bodies have been granted the rights to voluntarily form an UTC. Communities have been given the opportunity to carry out their social functions through public finances. A new system of subsidies to local budgets and access to the State Regional Development Fund was launched. At the end of 2015, 159 UTCs were created and in a year their number increased more than twice to 366 UTCs [3].

ECONOMY, MANAGEMENT AND MARKETING

Table 1. Dynamics of formation of united territorial communities on December 10 of the corresponding year, [5]

| Indicator | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2019/2015 |
|---|------|------|-------|-------|-------|-----------|
| Number of UTC | 159 | 366 | 665 | 806 | 1009 | 850 |
| Increase over the previous year | — | 207 | 299 | 141 | 203 | — |
| Number of residents in the UTC, million | 1.4 | 3.1 | 5.6 | 8.3 | 11.3 | 9.9 |
| Increase over the previous year | — | 1,7 | 2.5 | 2.7 | 3,0 | — |
| Area of UTC, thousand square km | 36.8 | 89.6 | 167.5 | 193.5 | 241.1 | 204.3 |
| Increase over the previous year | — | 52.8 | 77.9 | 26.0 | 47.6 | — |
| The average population of one UTC, people | 8711 | 8395 | 8417 | 18964 | 14713 | 6002 |

The data in Table 1 indicate an increase in the number of UTCs over a 5-year period by 850 united communities. In comparison with the previous year, the largest number of UTCs is demonstrated in 2017, during which 665 UTCs were registered, with an increase by 299 communities.

At the same time as the number of communities grows, the number of residents living in an UTC, its area and the average population of one community are increasing. Thus, at the end of 2019, 32.1% of the total population of the country, which is 43.2% of its total area, lived in UTC.

World experience in community development shows that local problems can be solved only at the level of local authorities. The state is simply not able to track the problem of each specific settlement.

From the beginning of 2019, the second phase of decentralization began, the main purpose of which was to redistribute the powers and responsibilities of self-government bodies at the level of regions and districts, and to create integrated territorial communities as self-sufficient regions. Table 2 provides a description of the capacity of the UTC by areas of a country.

Table 2. Formation of capable communities and cooperation between them during 2015—2019, [5]

| Region | Overall rating | Number of TCs that haven't been merged | Total number of cooperation projects | Including | | | Number of population in area, thousand people |
|----------------|----------------|--|--------------------------------------|-------------------------------|---|-------|---|
| | | | | Housing and communal services | Education, health care, social security | other | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Zhytomyr | 1 | 3 | 35 | 1 | 22 | 12 | 1220.2 |
| Dnipropetrovsk | 2 | 1 | 12 | 1 | 3 | 8 | 3206.5 |
| Khmelnysky | 3 | 5 | 10 | 3 | — | 7 | 1264.7 |
| Chernihiv | 4 | 4 | 14 | 2 | 7 | 5 | 1005.7 |
| Zaporizhzhya | 5 | 2 | 9 | — | 4 | 5 | 1705.8 |
| Volyn | 6 | 6 | 28 | 2 | 15 | 11 | 1035.3 |
| Sumy | 7 | 12 | 44 | 4 | 23 | 17 | 1081.4 |
| Donetsk | 8 | 11 | 2 | 1 | 1 | — | 1700.7 |

Continuation of table 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|----|-----|-----|----|-----|-----|---------|
| Chernivtsi | 9 | 9 | 6 | 1 | 1 | 4 | 904.4 |
| Ternopil'ska | 10 | 8 | 11 | 2 | 5 | 4 | 1045.9 |
| Mykolaiv | 11 | 10 | 3 | 3 | — | — | 1131.1 |
| Lugansk | 12 | 7 | 2 | — | 1 | 1 | 583.3 |
| Rivne | 13 | 13 | 16 | 1 | 5 | 10 | 1157.3 |
| Ivano-Frankivsk | 14 | 18 | 12 | 2 | 2 | 8 | 1373.3 |
| Kharkiv | 15 | 19 | 24 | 12 | 1 | 11 | 2675.6 |
| Poltava | 16 | 16 | 108 | 28 | 15 | 65 | 1400.4 |
| Cherkasy | 17 | 14 | 32 | 8 | 2 | 22 | 1206.4 |
| Kherson | 18 | 15 | 4 | — | 1 | 3 | 1037.6 |
| Odessa | 19 | 17 | 2 | 1 | — | 1 | 2380.3 |
| Kyiv | 20 | 22 | 8 | — | 2 | 6 | 1767.9 |
| Lviv | 21 | 21 | 19 | 2 | 5 | 12 | 2522.0 |
| Vinnitsia | 22 | 20 | 95 | 17 | 18 | 60 | 1560.4 |
| Transcarpathian | 23 | 24 | 36 | — | 32 | 4 | 1256.8 |
| Kirovohrad | 24 | 23 | 10 | — | 5 | 5 | 945.5 |
| Together | — | 300 | 542 | 91 | 170 | 281 | 35168.7 |

The first column of Table 2 presents an overall ranking of able communities by region. This rating includes 7 parameters that determine the population size of the affluent communities (UTCs and cities of regional importance (hereinafter CRI); their area; the number of TCs that have not been united within 5 years; the number of districts in the area, where the process has not started creation of TC; the number of UTCs with a population less than 5,000; the number of UTCs with administrative centers in the CRI and the last parameter is the availability of prospective plans of able communities of the region approved by the government.

According to Table 2, Zhytomyr Region, with a total population of 1220,2 thousand people, has the highest rating in terms of UTCs creation and their capacity, and has only 3 united territorial communities. This region includes 23 districts (for comparison: the largest number of districts is in Vinnitsia and Kharkiv regions (27), and the smallest — in Chernivtsi region (11), in each of which the process of creation of territorial communities has begun. The region also has 20 UTCs, with less than 5,000 inhabitants, 7 UTCs in CRI and 66 government-approved perspective plans. In first five in terms of the capacity of the UGC are Dnipropetrovsk, Khmelnytsky, Chernihiv and Zaporizhzhya regions, in which there is no district where the process of creation of territorial communities starts. Unfortunately, there are also areas where the process of decentralization is very slow, with virtually no results. Kirovograd region ranks last place in the ranking of regions for the formation of able communities. It is an area with small population (945.5 thousand people), which has 21 districts, nine of which do not create any territorial communities. In the region, 16 UTCs were created with a population less than 5 thousand people, but it included 59.3% of the population of the region. In our opinion, such situation exists due to the lack of specialists able to explain to the population the advantages of integration and to organize territorial entities. The reason may also be in the presence of villages with a small number of people, which are far from the district centers and from each

other. In such villages there are no schools, kindergartens, health care facilities. There is a lack of transport connections with local authorities, and it is difficult for the population to make an opinion on new decisions taken by the governing body. However, the newly created UTCs have 53 forward-looking plans approved by the government, which means that in these territories decentralization-related reforms are provided with cash funds. Next to the Kirovohrad region, in the rating of affluent communities are Zakarpattia, Vinnytsia, Lviv and Kyiv areas, which have districts where no UTCs are created and there are no territorial communities that would join the UTCs or cities of regional importance [5].

The reunion of territorial communities carried out during 2019 is needed because many of the communities that existed before and still exist today due to their small size and scarce resources, are unable to organize and finance the provision of basic public services to citizens: construction and repair of roads, maintenance of educational institutions, medicine, culture, social security, etc.

UTCs can enter into cooperation agreements that allow them to unite resources for joint projects, to create joint ventures. Cooperation agreements cover the areas of infrastructure management, utilities, education, health care, administrative services and others. Data from Table 2 shows that 542 cooperation agreements were concluded between the communities over the 5 years of decentralization reform, 91 of which were concluded with housing and communal services, 170 — with educational, health and social welfare institutions, others — 281 agreements — with fire safety, improvement, lighting, repair and more.

The united communities have gained new sources of revenue, as well as expanded competencies in land management, registration procedures, architectural and construction control, ensuring the functioning of local schools. For the first time, local communities have been given real opportunities and significant resources to undertake major infrastructure projects.

In addition to legislative changes about the delegation of powers, also, the reform envisages reorganization of districts. Instead of several dozens of them, 4—6 counties would be created, which should be formed on the basis of population and compactness criteria. In general, the division of the whole territory of Ukraine into 120—130 counties was planned [3].

Thanks to decentralization the transformation of relationship between the center and the UTC happens. The relations are more partner-based rather than subordinate.

Increasing community capacity is an important issue in formation of such relations. Now communities can unite as they wish. But, according to various estimates, about a third of communities has a lack of characteristics to provide a full range of quality of life services in their area.

The Ministry of Communities and Territorial Development of Ukraine recommends to focus on the criteria, which are divided into basic and additional ones [3], for determining the community capacity.

Basic are:

1) geographical integrity: the territory of the community cannot be subdivided, it cannot contain other local self-government bodies;

- 2) the presence of a grade I-III school for at least 250 students;
- 3) presence of 250 children of school and 100 children of preschool age.

Additional or evaluation criteria, that are proposed to consider when determining the capacity of a community, are the number of permanent residents, the area of its territory, the index of taxability of the community budget and its share of local taxes and fees.

The issue of accessibility is also considered, i.e. the distance to the administrative center, which should be no more than 25 km, and firefighters and ambulances could arrive in no more than 20 minutes.

Such indicators are important, but the resources that the community owns must also be taken into account. In Ukraine there are many settlements with 100—150 students, but there is an excellent material and technical base for the support school, there are enterprises in the territory that are able to provide the community with financial resources.

The Government of the country has proposed Guidelines for assessing the capacity level of territorial communities, where capacity level indicators have been proposed [6]. Criteria for assessing the capacity level of territorial communities are indicators that characterize the ability of territorial communities, independently or through relevant local governments, to provide an adequate level of service provision, in particular in the fields of education, culture, health, social protection, housing and communal services and infrastructure development of relevant territorial community.

According to the Guidelines, the assessment of the capacity level of territorial communities is based on the evaluation criteria, taking into account the limit values that are [6]:

- population — 3000 people;
- area — 200 square km;
- taxability index — 0.3;
- the share of local taxes and fees — 10%.

If the overall assessment of the capacity of territorial communities by the sum of the numerical values of the assessment criteria is from 1.2 to 1.8 — the territorial community has a low level of capacity, from 1.9 to 3.2 — average and high when it is from 3.3 to 4.

The main indicator in determining the capacity of UTC is the level of financial security, or, otherwise, the availability of financial resources. Such resources must be earned by the UTC (own revenues), some of which may come from central government to exercise the delegated powers. First of all, decentralization is perceived as the transfer of a large number of powers from public authorities into the hands of communities that are capable of managing their own resources and acting within their power. It is necessary to take into account the fact that communities are the population of the territory in which the community is formed, so they can spend financial resources much more efficiently on specific needs. This helps to revive the economy, create job places, develop infrastructure that was not typical for this area before. Table 3 presents the results of financial decentralization in recent years.

Table 3. The results of financial decentralization in recent years, [5]

| Indicator | 2017 | 2018 | 2019 | Deviation | | | |
|--|--------|--------|--------|-----------|------|-----------|------|
| | | | | 2019/2017 | | 2019/2018 | |
| | | | | abs | % | abs | % |
| Own revenues of the General Fund of local budgets (LB), billion UAH | 192.7 | 234.1 | 267.0 | 74.3 | 38.6 | 32.9 | 14.1 |
| Share of LB's own income in GDP,% | 6.5 | 6.6 | 6.8 | 0.3 | — | 0.2 | — |
| Income of the LB General Fund per inhabitant for January-October of the respective year, UAH | 4002.8 | 4883.9 | 6059.6 | 2056.8 | 51.4 | 1175.7 | 24.1 |
| Local taxes and fees per inhabitant for January-October, UAH | 1135.4 | 1317.7 | 1679.4 | 544.0 | 47.9 | 361.7 | 27.4 |
| Share of local taxes and fees in MB's own revenues,% | 27.3 | 26.1 | 27.5 | 0.2 | — | 1.4 | — |

From Table 3, we can see an increase of own revenues of the General Fund of local budgets in 2019 compared to 2017 by UAH 74.3 billion (by 36.6%). A comparison of the last two years shows an increase of own revenues by UAH 32.9 billion (14.1%). The increase of own revenues in 2019 was also influenced by the state support of local budgets in the amount of UAH 15.8 billion under 3 programs: transfer of the State Fund for Reconstruction and Development, subsidies for UTC and subventions for rural medicine, as well as transfer of subsidies for construction, reconstruction, repair and maintenance of roads of local importance in the amount of UAH 14.7 billion. The increase in the general fund's own income also affected the incomes per inhabitant, which have shown growth dynamics over 3 years. It is also the positive dynamics of local taxes and fees per inhabitant. In 2019 per inhabitant accounts for UAH 1,679.4. We can see an increase by UAH 361.7 compared with 2018. The increase in local taxes and fees is due to the implementation of new technologies by communities that contribute to the development of entrepreneurial activity, which ensures the receipt of local budgets in the form of taxes and fees.

Conclusions

The reform of local self-government and decentralization of power, which has been ongoing in Ukraine for 5 years, involves overcoming many problems related to the low level of investment attractiveness of territories, the high level of subsidization of communities, their dependence on the central authorities, etc. Today, since the start of the decentralization reform, more than a thousand UTCs has been created, with a total population of 11.3 million. Some of them have held elections, started a life with a new model, have their first development achievements. The 87.7% of the country's territory is covered by the prospective plans for forming territories of communities. In addition, in 2019, the process of community involvement in UTCs has increased significantly — about 170 neighboring and village councils and almost 100 communities in cities of regional importance [7].

Communities show that they can cope with the new powers and take advantage of the opportunities that their status gives them. But there are communities where

there is a lack of experience and skills to perform the functions assigned to them and, as a result, there is an inefficient formation and use of community resources. In addition to the experience and skills of the staff, the problems and risks of the decentralization process in Ukraine are as follows:

- the system of local self-government and the system of executive power at the local level are not perfect, which do not provide proper control by the central bodies, law enforcement structures, which should be clearly defined. Local authorities should know which issues fall within their competence and which should be addressed at the highest level (security, European integration, state language policy, etc.);

- there is an absence of basic level of local self-government, which should clearly define the prospects of territorial development. Not all UTCs are self-sufficient and capable, so it is necessary to continue the use of principle of financial equalization for such communities — richer UTCs help less successful [7];

- lack of experience in local self-government bodies in implementing strategic planning and programming for community development. This problem can be solved through the introduction of programs to improve the skills of local government officials, and provide advisory support from executive authorities;

- the existence of a disproportion between the number of newly created UTCs and the amount of subsidies they should receive. The rapid increase in the number of UTCs without a proportional increase in the amount of infrastructure development subsidies reduces the motivation of communities to integrate and does not ensure their socio-economic development.

On the whole, decentralization reforms are perceived positively by the communities, there are already some results which show that decentralization is really needed, but at this stage of reforming this is not enough. Only the complete completion of the decentralization process in Ukraine will show how ready society and the state are to function in a radically different vector of economic relations at the local level.

Література

1. Василенко Л. Н., Добровінський М. Децентралізація та реформа місцевого самоврядування. Адміністративне право і процес. 2017. № 3. URL: <http://pgr-journal.kiev.ua/archive/2017/3/28>. (accessed 10 January 2020).

2. Мацедонська Н. В., Клівіденко Л. М. Децентралізація в Україні та основні шляхи її впровадження в сучасних умовах. Економіка та Суспільство. 2017. Випуск 8. № 3. URL: http://www.economyandsociety.in.ua/journal/8_ukr/103.pdf. (accessed 11 January 2020).

3. Прес-центр ініціативи «Децентралізація». URL: <http://decentralization@minregion.gov.ua>. (дата звернення 12.01.2020). (accessed 12 January 2020).

4. Федорів П. Не лише децентралізація: навіщо Україні політика територіального вирівнювання. URL: <https://mistosite.org.ua/articles/ne-lyshe-detsentralizatsiia-navishcho-ukraini-potribna-polityka-terytorialnoho-vyrvnivuvannia> (accessed 12 January 2020).

5. Моніторинг процесу децентралізації влади та реформування місцевого самоврядування URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/506/10.12.2019>. (accessed 10 January 2020).

6. Методичні рекомендації щодо оцінки рівня спроможності територіальних громад URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/attachment/document/47/> (accessed 10 January 2020).

7. Реформа децентралізації. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/diyalnist/reformi/reforma-decentralizaciyi> (accessed 10 January 2020).

STRATEGIC MANAGEMENT OF TNC LOCAL SUBDIVISION BRAND PORTFOLIO ON THE LOCAL MARKET

D. Bikulov, V. Harkusha, O. Holovan, O. Oliynyk, S. Markova
Zaporizhzhya National University

Key words:

Brand
Brand portfolio
Strategic management
TNC
Brand Dynamics
methodology
Brewery market

Article history:

Received 16.03.2020
Received in revised form
30.03.2020
Accepted 13.04.2020

Corresponding author:

O. Oliynyk

E-mail:

anolynick@gmail.com

ABSTRACT

In the practice of branding for business executives, the most problematic and pressing issue is the selection and using of appropriate brand management methods and substantiation of their development strategies. A brand strategy is a model of planned objectives and development of branding measures that are aimed at gaining competitive advantage and brand capital increase.

Matrix methods of brand portfolio management and substantiation of development strategies have been proposed. Brand Dynamics methodology makes it possible to create a map of brand positions in the portfolio and choose the appropriate strategies for their development. The ADL/LC matrix allows to formulate brand development strategies and determine the balance of the portfolio as a whole, based on an analysis of two parameters, namely the brands life cycle and their competitive position.

In the article using matrix methods the brand portfolio of Carlsberg Ukraine, which is TNC Carlsberg Group local subdivision, has been analyzed at the local brewery market. The brand portfolio of TNC Carlsberg Group local subdivision — Carlsberg Ukraine — is balanced at the domestic brewery market.

The use of ADL/LC and Brand Dynamics techniques enables the brewery industry company to determine its brand positions depending on the degree of consumer loyalty and competitive position at the market and to predict their future development using appropriate strategies.

According to the research, it is advisable to use a position retention strategy for brand “Lvivske”; rapid growth strategies for such brands as kvass “Taras” and cider “Somersby”; for brand “Carlsberg” — a growth strategy by expanding the offer or supporting additional investments; for brand “Baltika” — selective growth strategy; for brand “Arsenal” — a strategy for selective development through niche retention; for brand “Zhi-gulovske” — a strategy of selective development through the achievement of leadership in pricing; for brand “Slavutich” — strategy of rebranding or gradual withdrawal from the market; for the “Guinness” brand — a niche retention strategy.

СТРАТЕГІЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПОРТФЕЛЯ БРЕНДІВ СТРУКТУРНОГО ПІДРОЗДІЛУ ТНК НА ЛОКАЛЬНОМУ РИНКУ

Д. Т. Бікулов, В. А. Гаркуша, О. О. Головань, О. М. Олійник, С. В. Маркова
Запорізький національний університет

У практиці здійснення брендингу для керівників підприємств найбільш проблемним і актуальним питанням є вибір та використання відповідних методів управління брендами й обґрунтування стратегій їх розвитку. Бренд-стратегія є моделлю планованих завдань і розробки заходів брендингу, що спрямовані на отримання конкурентної переваги і збільшення капіталу бренду.

Для управління портфелем брендів та обґрунтування стратегій розвитку в статті запропоновано матричні методики. Методика Brand Dynamics дає змогу побудувати карту позицій брендів у портфелі та обрати відповідні стратегії їх розвитку. Матриця ADL/LC на основі аналізу двох параметрів, зокрема стадії життєвого циклу брендів та їх конкурентної позиції, надає можливість сформувати стратегії розвитку брендів, а також визначити збалансованість портфеля в цілому.

За допомогою матричних методів проаналізовано портфель брендів Carlsberg Ukraine, що є структурним підрозділом ТНК Carlsberg Group на вітчизняному локальному броварному ринку. Портфель брендів локального підрозділу ТНК Carlsberg Group — Carlsberg Ukraine на вітчизняному броварному ринку є збалансованим.

Застосування методик ADL/LC та Brand Dynamics дає змогу компанії галузі броварництва визначати позиції своїх брендів залежно від ступеня лояльності споживачів і конкурентного стану на ринку та спрогнозувати їхній майбутній розвиток, використовуючи відповідні стратегії, запропоновані у статті.

Визначено, що для бренду «Львівське» доцільно використовувати стратегію утримання позицій; для брендів квас «Тарас» і сидр «Somersby» — стратегії швидкого зростання; для бренду «Carlsberg» — стратегію зростання за рахунок розширення пропозиції або підтримки додатковими інвестиціями; для бренду «Балтика» — стратегію вибіркового зростання; для бренду «Арсенал» — стратегію вибіркового розвитку через утримання ніші; для бренду «Жигулівське» — стратегію вибіркового розвитку через досягнення лідерства в ціноутворенні; для бренду «Славутич» — стратегію ребрендингу або поступового виведення з ринку; для бренду «Guinness» — стратегію утримання ніші.

Ключові слова: бренд, портфель брендів, стратегічний менеджмент, ТНК, методика Brand Dynamics, броварний ринок.

Постановка проблеми. У сучасних умовах харчова промисловість характеризується динамічним характером розвитку, жорсткою конкуренцією та має

істотний вплив на стан національного господарства, яке формується та розвивається під впливом процесів інтернаціоналізації й транснаціоналізації. Цей сектор локальної економіки об'єднує в собі суміжні галузі, успіх яких залежить від стабільної роботи вітчизняних підприємств харчової промисловості.

У практиці стратегічного управління портфелем брендів для керівників підприємств найбільш проблемним та актуальним питанням є вибір і впровадження відповідних стратегій для кожного глобального й локального бренду на національному ринку. Фундаментальним і ключовим фактором стратегічного брендингу є формування напрямків розвитку структурних елементів портфеля брендів компанії з одночасним визначенням ролей брендів та взаємодії між ними на основі матричних методів.

Питання формування і розвитку портфеля брендів актуалізується для вітчизняних підприємств харчової промисловості в контексті їх взаємодії з великими транснаціональними компаніями, які присутні на локальному ринку. Деякі з ТНК, зокрема ТОВ «Нестле Україна» (ТНК Nestlé), ПрАТ «Монделіс Україна» (ТНК Mondelez International), ТОВ «Кока-Кола Беверіджиз Україна Лімітед» (The Coca-Cola), мають на українському локальному ринку власні виробничі й управлінські структурні підрозділи, які повинні реалізовувати стратегії для глобальних брендів, адаптуючи їх під вимоги національного ринку, а також стратегії для локальних брендів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема стратегічного менеджменту портфеля брендів присвячені праці вітчизняних і зарубіжних науковців. Поняття «портфель брендів» трактується по-різному. Так, Д. Аакер [1] визначає його як сукупність брендів або суббрендів, що приєднані до ринково-орієнтованих пропозицій продукту, враховуючи спільні бренди з іншими фірмами. Ж.-Н. Капферер [7] зазначає, що це — комбінації міжнародних та локальних, слабких та сильних, нових та зрілих брендів; відповідь на особливі цілі домінування у товарній категорії. Ф. Котлер [8] пов'язує управління портфелем брендів з оцінкою стану всіх «виробництв», які входять до складу фірми (під «виробництвом» розуміють товарний асортимент, бренди, відділи). Б. Ванекен [4] вважає, що портфель брендів — це сукупність брендів і суббрендів, які належать одній організації. О. Зозульов [6] під портфелем брендів розуміє сукупність усіх торговельних марок і марочних ліній, які пропонує підприємство в рамках певної товарної категорії.

Стратегічне управління портфелем брендів тісно пов'язане з поняттям «архітектура брендів», яке розглянуто в працях таких науковців, як Д. Змітрович, С. Солнцев [5]. Вони зазначають, що архітектура брендів — це система організації та управління торговельними марками компанії, з якими вона вийшла на ринок. Д. Аакер поєднує створення архітектури брендів і портфельну теорію: «Архітектура брендів організовує і структурує портфель компанії шляхом визначення ролі кожного бренду, системи відносин між брендами в рамках портфеля однієї компанії і між різними моделями продукт-ринок» [1]. Проте дослідження й обґрунтування особливостей реалізації системи менеджменту портфеля

брендів ТНК на локальних ринках у сучасних умовах не отримало достатнього розвитку.

Мета статті: обґрунтування стратегій розвитку портфеля брендів структурного підрозділу ТНК Carlsberg Group на вітчизняному локальному ринку за допомогою матричних методів.

Викладення основних результатів дослідження. Зміна ринкової динаміки та формування нових маркетингових стратегій ТНК призводить до критичного переосмислення взаємодії різних торговельних марок у рамках портфеля брендів компанії, що діють на локальному та глобальному ринках.

Архітектура визначає структуру портфеля брендів компанії, принципи управління ним, значущість окремих брендів та їхній внесок у збільшення вартості компанії. Залежно від ситуації, що складається на локальних і глобальних ринках, глобальний бренд може оновлюватися і навіть видозмінюватися, адаптуючись під бажання споживачів. Портфель брендів — це сукупність усіх торговельних марок і марочних ліній, які пропонує підприємство в рамках певної товарної категорії [5].

Успішне формування портфеля брендів забезпечує стійку конкурентну перевагу компанії, призводить до підвищення показників ефективності роботи компанії та збуту її продукції. Отже, на нашу думку, менеджмент портфеля брендів — це процес, який передбачає поєднання та структурування брендів або суббрендів ТНК у портфелі за певними ознаками, з урахуванням орієнтованості на різні цільові сегменти та здатності забезпечувати стійкі позиції підприємства на ринку.

Процес управління портфелем брендів сприяє взаємному посиленню конкурентних переваг кожного з брендів, що входять до його структури, максимізуючи марочний капітал і підвищуючи ефективність використання капіталу компанії.

Для вдосконалення системи управління портфелем брендів використаємо методику Brand Dynamics, яка поєднує в собі методику вимірювання brand equity і детальну діагностику ключових драйверів здоров'я бренду. Основними складовими частинами методу Brand Dynamics є: Brand Dynamics Pyramid («Піраміда бренду»); Brand Signature («Підпис бренду»); Voltage («Енергія бренду») [9].

Збільшення обсягів продажів компанії тісно пов'язано з лояльністю споживачів до бренду. Дослідники виділяють параметр, від якого залежить лояльність до бренду, — це Consideration, або «ступінь розгляду» бренду при покупці. На цей параметр впливають уявлення споживача про ціну, статус бренду, звички тощо. Він є практично корисним параметром, який добре пов'язаний з часткою витрат споживача у певній товарній групі саме на цей бренд. У кінцевому підсумку це можна вважати вираженням лояльності споживача. Зрозуміло, що лояльність до бренду створюється не миттєво і може змінюватися з часом. Щоб визначити динаміку зміни в рамках методу Brand Dynamics будується піраміда, яка показує, як цільова група приводиться до стану лояльності. Піраміда Brand Dynamics має 5 рівнів лояльності (зверху вниз), як показано на рис. 1.

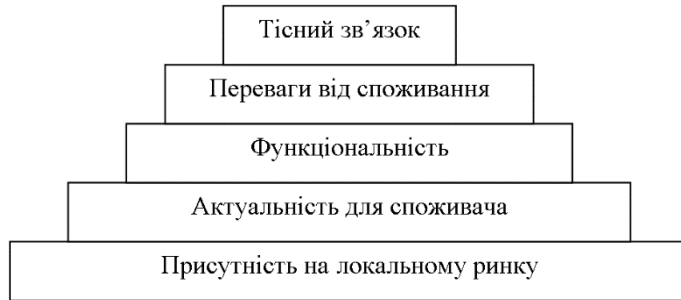


Рис. 1. Піраміда Brand Dynamics

Відсоток споживачів, які переходять з рівня на рівень піраміди, в термінології методу Brand Dynamics називається відсотком конвертації. Емпіричні дослідження дали змогу визначити очікувані відсотки конвертації з одного рівня на інший. Очікувані відсотки конвертації з рівня на рівень складають своєрідний еталон [9].

Для визначення ролі бренду в портфелі важливо звернути увагу на різницю між реальним і очікуваним відсотком конвертації бренду. Різниця обчислюється для кожного рівня піраміди і відзначається на діаграмі, яка має назву «Підпис бренду» (Brand Signature) і показує відмінність бренду від еталону, а також наскільки добре бренд «конвертує» споживачів з рівня на рівень.

Спираючись на отриману базу даних, дослідники розділили всі «підписи» брендів на вісім основних типів [10]:

1. «Чистий аркуш» (Clean Slate) — бренд, маловідомий більшості споживачів, неактуальний для них, майже не має переваг.

2. «Тигрєня» (Little Tiger) — маловідомий бренд, проте має сильних прихильників. Цей бренд може стати «олімпійцем», якщо, не змінюючи своєї основи, збільшить свою присутність на ринку і значущість для широкої групи споживачів.

3. «Спеціаліст» (Specialist) — відносно добре відомий бренд, але не підходить масовій аудиторії (можливо, дуже дорогий для більшості або не відповідає потребам більшості).

4. «Класичний» (Classic) — добре відомий, улюблений бренд, який має відносно велику кількість прихильників, проте не є великим брендом.

5. «Олімпієць» (Olympic) — добре відомий, улюблений бренд, з великою армією прихильників, постійно згадується в повсякденному житті, входить до культурного життя країни.

6. «Захисник» (Defender) — бренду притаманний баланс між якостями продукту і ціною, але при цьому він не спирається на продуктові або емоційні переваги.

7. «Слабкий» (Weak) — відносно невеликий бренд, щоб конкурувати за більшість споживачів; часто важко піддається опису і не розглядається споживачами.

8. «Зірка, що згасає» (Fading Star) — бренд, який колись був відомий і улюблений більшістю споживачів, проте на тепер втрачає прихильників.

Розвиваючи методику Brand Dynamics, дослідники ввели поняття Voltage або «енергія бренду». Це інтегрований показник, який одержують складанням по-

казників конвертації всіх рівнів піраміди, помножених на їхню вагу. Він пов'язаний з імовірністю зростання популярності бренду серед споживачів. Крім того, Voltage характеризує імунітет бренду (захищеність від дій конкурентів). Всі типи брендів розміщуються на карті Brand Dynamics (рис. 2) [9; 10].

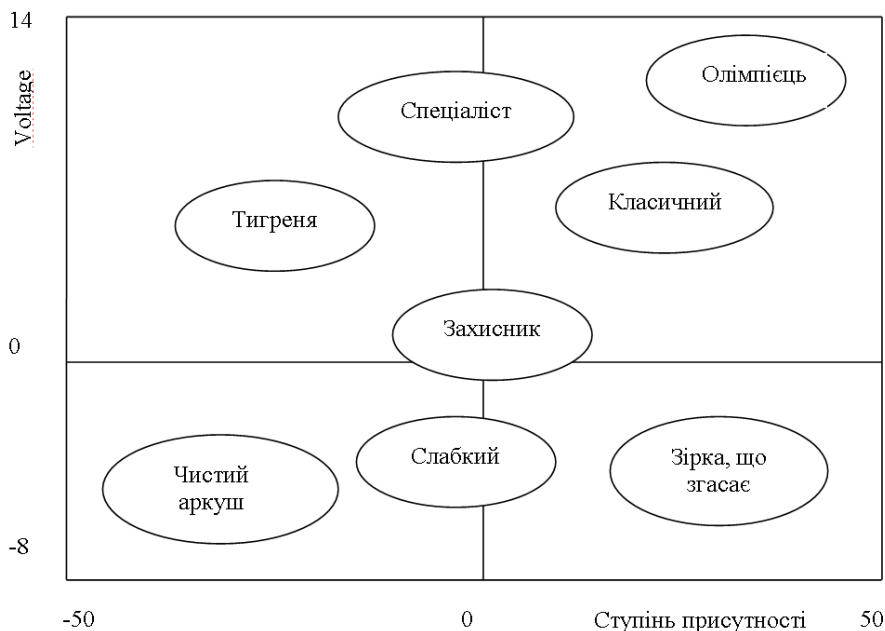


Рис. 2. Карта Brand Dynamics [10]

Карта Brand Dynamics демонструє також схему розвитку брендів: «чистий аркуш» стає «тигрєням», потім «класичним» або «олімпійцем», після чого він може почати перетворюватися на «зірку, що згасає».

Розглянемо особливості управління портфелем брендів ТНК Carlsberg Group, зокрема його структурного підрозділу Carlsberg Ukraine на вітчизняному локальному ринку. Carlsberg Ukraine є частиною групи Carlsberg Group в Україні. Компанія володіє трьома заводами, розташованими в Києві, Львові та Запоріжжі. Carlsberg став лідером за обсягами виробництва на ринку України з 2016 року. За даними статистики [2], частка компанії на ринку становить більше 30%. Портфель брендів Carlsberg налічує більше ніж 500 брендів пива, з яких в Україні найбільш відомими є «Балтика», «Львівське», «Арсенал», «Славутич», «Tuborg», «Holsten», «Carlsberg», «Doms», «Kronenbourg» тощо, а також інші продукти броварництва [12].

Для аналізу портфеля брендів Carlsberg Ukraine на локальному ринку та визначення стратегій управління ним використовуємо матричні методи — матрицю ADL/LC та карту Brand Dynamics.

На основі статистичних даних [2; 11], інформації про базові бренди Carlsberg Ukraine [12] та за результатами опитування експертів побудуємо матрицю ADL/LC для портфеля брендів компанії. Для аналізу обираємо бренди пива «Львівське», «Балтика», «Славутич», «Carlsberg», «Арсенал», «Жигулівське», сидр «Somersby» та квас «Тарас».

Для визначення становища брендів на ринку застосуємо особливі показники, які притаманні броварній галузі, зокрема частка ринку, технологічне лідерство, додаткові переваги бренду, глибина лінійки асортиментного бренду, реклама та мерчандайзинг. Кожному показнику присвоюємо коефіцієнт вагомості, що відображає його важливість для цілей компанії. За допомогою бальних оцінок для кожного показника (від 1 до 5, де 5 — найвища оцінка) визначаємо загальний рейтинг кожного бренду (табл. 1).

Таблиця 1. Рейтингові оцінки конкурентоспроможності брендів компанії Carlsberg Ukraine, побудовано авторами

| Показники | Ваговий коефіцієнт | «Львівське» | «Балтика» | «Славутич» | «Carlsberg» | «Арсенал» | «Жигулівське» | Сидр «Somersby» | Квас «Тарас» |
|-------------------------|--------------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|---------------|-----------------|--------------|
| Частка ринку | 0,25 | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| Технологічне лідерство | 0,15 | 5 | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Додаткові переваги | 0,25 | 5 | 2 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| Глибина лінійки | 0,15 | 5 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 |
| Реклама і мерчандайзинг | 0,20 | 5 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| Загальний рейтинг | 1,0 | 5,0 | 3,2 | 1,9 | 3,35 | 2,45 | 2,5 | 4,2 | 4,5 |

Рейтингові оцінки конкурентоспроможності брендів Carlsberg Ukraine та наявна статистична інформація показують, що такі бренди, як «Львівське» та квас «Тарас» домінують на ринку завдяки високій ринковій частці, сформованому іміджу, ефективному просуванню тощо. Сидр «Somersby» посідає сильну позицію, оскільки має найбільшу частку на ринку (близько 60%) і глибоку лінійку [3]. Бренди «Carlsberg» та «Балтика» мають сприятливу конкурентну позицію завдяки своєму сформованому іміджу міжнародних брендів і високій якості пива. Бренди «Жигулівське» та «Арсенал» мають міцну конкурентну позицію завдяки співвідношенню «якість-ціна». Бренд «Славутич» має слабку позицію через низьку ринкову частку. На рис. 3. наведено побудовану матрицю ADL/LC для брендів Carlsberg Ukraine.

| Стадії життєвого циклу товару | Конкурентні позиції | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------|--------------------------|------------|-------------|--|-----------|
| | Слабка | Міцна | Сприятлива | Сильна | Домінуюча | | |
| | «Славутич» | | | | | | Старіння |
| | | «Арсенал» | «Carlsberg» «Балтика» | | «Львівське» | | Зрілість |
| | | «Жигулівське» | | «Somersby» | «Тарас» | | Зростання |
| | | | | | Зародження | | |

Рис. 3. Матриця ADL/LC для брендів Carlsberg Ukraine

На основі побудованої матриці ADL/LC та інформації про бренди Carlsberg Ukraine визначимо позиції брендів компанії на карті Brand Dynamics (рис. 4).

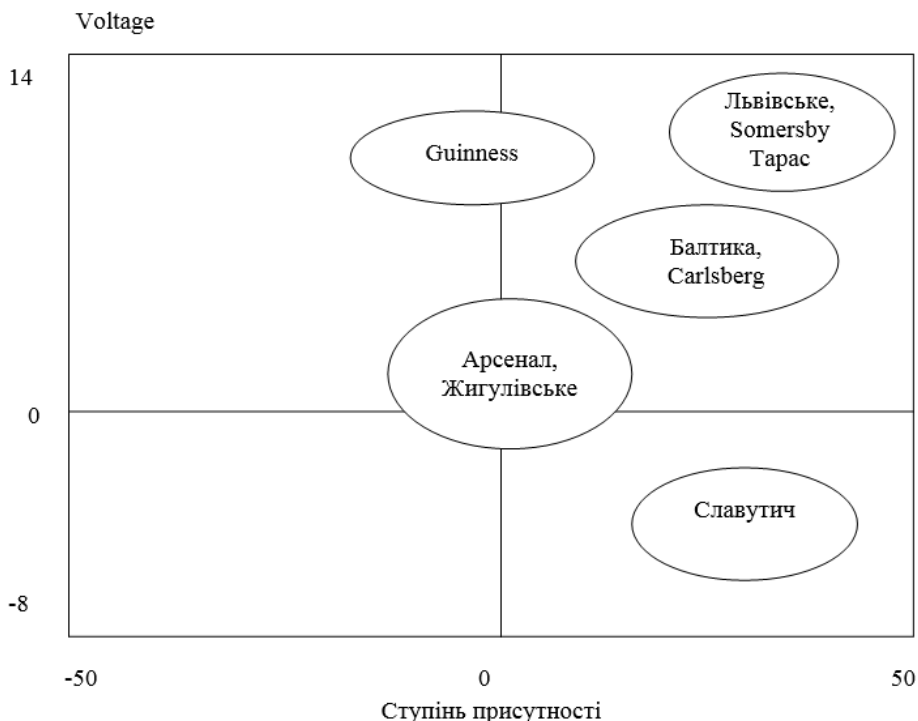


Рис. 4. Позиції брендів Carlsberg Ukraine на карті Brand Dynamics

Отже, бренд «Славутич» відноситься до типу «зірки, що згасає» (його вивели на ринок у 1998 р.), оскільки українські споживачі пива поступово втрачають інтерес до нього. Бренди «Балтика» та «Carlsberg» віднесено до «класичних», оскільки вони є відомими міжнародними брендами. Бренди «Жигулівське» та «Арсенал» є локальними брендами, які приваблюють споживачів доступними цінами та прийнятною якістю. Їх можна віднести до «захисників». Бренди «Львівське», «Тарас» та «Somersby» є «олімпійцями», оскільки добре відомі споживачам та є лідерами на локальному ринку. Бренд «Guinness» можна вважати «спеціалістом», оскільки він є глобальним брендом, відомим на локальному ринку, але через сформований імідж пропонується за більш високими цінами, ніж національні бренди.

Висновки

Грунтуючись на матричному аналізі позицій брендів Carlsberg Ukraine, зважаючи на специфіку розвитку локального ринку, доцільно рекомендувати такі стратегії подальшого розвитку портфеля брендів компанії:

- для бренду «Львівське» стратегію утримання положення за рахунок використання ефективних маркетингових заходів, а також подальшого розширення лінійки бренду, що надасть можливість компанії задовольняти різноманітні

запити українських споживачів пива з огляду на нові тенденції та уподобання на цьому ринку;

- для брендів квас «Тарас» і сидр «Somersby» необхідним є постійне відстеження тенденцій розвитку ринку та застосування стратегії швидкого зростання, яка передбачає як розширення лінійки бренду за рахунок диференціації продукції, так і використання ефективних інструментів маркетингу;

- для бренду «Carlsberg» стратегію зростання за рахунок розширення пропозиції або підтримки додатковими інвестиціями;

- для бренду «Балтика» стратегію вибіркового зростання за рахунок оптимізації лінійки бренду відповідно до уподобань споживачів пива;

- для бренду «Арсенал» стратегію вибіркового розвитку через утримання ніші (пиво для «справжніх чоловіків»), яка передбачає підтримку поінформованості про бренд і використання ефективних маркетингових заходів залучення покупців (реклама, знижки з ціни, акції);

- для бренду «Жигулівське» стратегію вибіркового розвитку через досягнення лідерства в ціноутворенні та ефективній організації збуту продукції з метою збільшення частки ринку, оскільки основні конкуренти також пропонують пиво під брендом «Жигулівське»;

- для бренду «Славутич» стратегію, яка повинна передбачати ребрендинг або поступове виведення його з ринку;

- для бренду «Guinness» стратегію утримання ніші за рахунок диференціації продукту та можливого розширення існуючого ринку.

Отже, матричні методи дають змогу компанії броварної галузі визначити позиції своїх брендів залежно від конкурентного становища на ринку та ступеня лояльності споживачів і спрогнозувати їх майбутній розвиток, використовуючи відповідні стратегії. На основі аналізу портфеля брендів Carlsberg Ukraine можна зробити висновок, що компанія ретельно вивчає попит і тенденції змін в уподобаннях українських споживачів, адаптуючи товарний асортимент під їхні запити.

Перспективи дослідження полягають у розробці архітектури брендів ТНК на локальному ринку, що забезпечить компанії розширення потенціалу розвитку.

Література

1. Аакер Д. Стратегия управления портфелем брендов. Москва: Эксмо, 2008. 320 с.
2. Білінчук В., Соболєва-Терещенко О. Сучасний стан та перспективи розвитку пивного ринку в Україні. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2019. № 1(17). С. 122—131.
3. Близько 20% доходу компанії Carlsberg Ukraine приносять саме інновації. URL: <https://business.ua/economy/5717-nam-blizko-20-dokhodu-prinosyat-same-innovatsiji>. (дата звернення: 02.02.2020).
4. Ванэкен Б. Бренд-помощь: простое руководство, которое поможет решить проблемы брендинга. Санкт-Петербург: Питер, 2005. 336 с.
5. Змітрович Д. Д., Солнцев С. О. Портфель брендів компанії: структура та управління. URL: <http://ape.fmm.kpi.ua/article/view/134960>. (дата звернення: 02.02.2020).
6. Зозульов О., Нестерова І. Моделі брендингу: класифікація та стисла характеристика. *Маркетинг в Україні*. 2006. № 5(39). С. 44—49.
7. Капферер Ж.-Н. Торговые марки: испытание практикой. Москва: Издательский дом «Инфра-М», 2002. 210 с.

8. Котлер Ф. Персональный брендинг: технологии достижения личной популярности. Москва: Издательский дом «Гребенников», 2008. 397 с.
9. Надеин А. Brand Dynamics — методика, нацеливания бренда в лучшее будущее. *Рекламные идеи*. 2004. № 1. С. 8—23.
10. Негребецкий А. В. Brand Dynamics — инструмент исследования ценности бренда. *Методология и теория экономики*. 2007. № 3. С. 81—83.
11. Обзор украинского рынка пива 2016 — 2018 года. URL: <https://trademaster.ua/articles/312989> (дата звернення: 02.02.2020).
12. Офіційний сайт Carlsberg Ukraine. URL: <https://carlsbergukraine.com/newsroom/carlsberg-ukraine/>. (дата звернення: 02.02.2020).

EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF ECOLOGICAL MANAGEMENT SYSTEM ON THE ENTERPRISES OF OIL AND FAT PROCESSING INDUSTRY

O. Dragan

National University of Food Technologies

N. Chesnik

Vinnitsa College of National University of Food Technologies

Key words:

*Experience,
Environmental
management,
Indicators,
Enterprise,
Oil and fat industry*

Article history:

Received 23.03.2020
Received in revised form
06.03.2020
Accepted 20.04.2020

Corresponding author:

O. Dragan

E-mail:

eidragan@ukr.net

ABSTRACT

The experience of introduction of ecological management system in the activity of the enterprises of oil and fat industry with the aim of its generalization and distribution on other enterprises is investigated in the article. The research object is the system of ecological management of Private Joint Stock Company “Vinnitsia oil and fat processing plant”. The methods of research are system, statistical, expert questioning, integral evaluation. Integrated control system of quality and safety of food products and forage products (oilseed residues), that answers the requirements of State Standard of Ukraine ISO 9001:2009 and State Standard of Ukraine ISO 22000:2007, system of ecological constancy (ISCC) according to the international standard of ISO 14001:2015 is functioned in the Private Joint Stock Company “Vinnitsia oil and fat processing plant”. Stages of ecological management introduction in accordance with the international standard of ISO 14000 series were described. Investigational events were introduced into the activity of Private Joint Stock Company “Vinnitsia oil and fat processing plant” according to the international standard of ISO 14001:2015.

Reasonable present advantages from introduction of ecological management system are: influence on the decline of indexes of resources use (electric power, heat power) and increase of economic indicators of enterprise’s activity (net profit from products realization, material productivity, updating of the main productive assets, heat production). The scientific novelty is application of methodology of evaluation state of ecological management in Private Joint Stock Company “Vinnitsia oil and fat processing plant” by means of integral indexes for the period of 2010—2018 with the conclusions for its further improvement. Practical meaningfulness of the obtained results is deepening of the methodical approaches aimed at the state control of the ecological management of the enterprise for prevention of its decline and guidance preventing with the aim of active events acceptance.

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ОЛІЙНО-ЖИРОВОЇ ГАЛУЗІ

О. І. Драган

Національний університет харчових технологій

Н. М. Чеснік

Вінницький коледж Національного університету харчових технологій

У статті досліджується досвід впровадження системи екологічного менеджменту у діяльність підприємств олійно-жирової галузі з метою його узагальнення та поширення на інших підприємствах. Об'єктом дослідження є система екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат». Методами дослідження є системний, статистичний, експертного опитування, інтегрального оцінювання. На ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» функціонує інтегрована система управління якістю та безпечністю харчових продуктів та кормових продуктів (шроту), яка відповідає вимогам ДСТУ ISO 9001:2009 та ДСТУ ISO 22000:2007, система екологічної сталості (ISCC) за міжнародним стандартом ISO 14001:2015. Охарактеризовані етапи впровадження екологічного менеджменту відповідно до міжнародного стандарту серії ISO 14000. Досліджені заходи, які впровадило у діяльність ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» згідно міжнародного стандарту ISO 14001:2015. Обґрунтовані наявні переваги від впровадження системи екологічного менеджменту з впливом на зниження показників використання ресурсів (електроенергії, теплоенергії) та збільшення економічних показників діяльності підприємства (чистий дохід від реалізації продукції, матеріаловіддача, оновлення основних виробничих засобів, ресурсоемність виробництва). Наукова новизна полягає: у застосуванні методики оцінювання стану екологічного менеджменту на ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» за допомогою інтегральних показників за період 2010-2018 років з обґрунтуванням висновків для подальшого його покращення. Практична значимість отриманих результатів полягає у поглибленні методичних підходів, спрямованих на контроль за станом екологічного менеджменту підприємства, для запобігання його зниження та попередження керівництва з метою прийняття активних заходів.

Ключові слова: екологічний менеджмент, показники, підприємство, олійно-жирова галузь.

Постановка проблеми. Останнім часом в Україні спостерігається негативна ситуація у сфері екологічної політики підприємств олійно-жирової галузі. Сучасні підприємства олійно-жирової галузі забруднюють навколишнє середовище відходами і викидами всіх видів виробництва, неефективно використовують природні ресурси, прагнуть сплатити невеликі штрафи та екологічні податки, не бажаючи впроваджувати системи екологічного менеджменту. Цілі і пріоритети екологічного менеджменту пов'язані з процесами

постійного поліпшення й удосконалення за всіма екологічно значимими аспектами діяльності підприємства. Вагомою мотивацією для впровадження системи екологічного менеджменту на підприємствах олійно-жирової галузі є зацікавленість у позитивному впливі на відносини із зарубіжними партнерами при експорті продукції. Тому дослідження практичного досвіду передових підприємств, що впровадили ефективну систему екологічного менеджменту у свою діяльність, є актуальним для поширення на інших підприємствах олійно-жирової галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці проблематики впровадження системи екологічного менеджменту присвячені фундаментальні праці багатьох вітчизняних і зарубіжних науковців. Такі вчені, як О. В. Астаф'єва, Ю. В. Бабина, Л. Н. Бельдєва, А. Л. Бобровський, С. Е. Дерягіна, С. А. Зенченко, М. Е. Ільїна, Л. Ф. Кожушко, О. А. Коник, Л. М. Кузнецов, Л. В. Купрєєва, С. І. Лебедевич, С. М. Літвак, І. С. Масленникова, С. С. Рижков, Н. В. Селіванова, П. С. Серенков, В. А. Скороходов, П. М. Скрипчук, М. Н. Струкова, Т. А. Трифонова та ін. досліджували процес розробки, впровадження та функціонування системи екологічного менеджменту на підприємствах. Проте, незважаючи на значні теоретичні та практичні здобутки у дослідженні системи екологічного менеджменту, невирішеним є питання накопичення досвіду найкращих підприємств олійно-жирової галузі з цієї проблематики.

Метою дослідження є дослідження впливу впровадження системи екологічного менеджменту на екологічний стан та економічну діяльність підприємства на підставі застосування інтегрального оцінювання на прикладі ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат».

Викладення основних результатів дослідження. Олійно-жирова промисловість — це складна галузь харчової індустрії, що складається з взаємопов'язаних виробництв олії, жирів, харчового масла, маргарину та реалізації продукції. Олійно-жирова промисловість як вихідну сировину використовує насіння олійних культур — соняшнику, льону, бавовнику, сої, гірчиці, арахісу, рапсу, коноплі тощо.

За останні 20 років потужності з переробки олійних в Україні збільшилися у 8 разів, за цей час побудовано 60 нових переробних підприємств і 16 терміналів з перевалки олій, в галузь залучено 3 млрд дол. США інвестицій. За 2018 р. виробництво насіння олійних культур склало 21,375 млн т, з яких 14,165 млн т — насіння соняшнику, 4,46 млн т — соя і 2,75 млн т — ріпак, виробництво соняшникової нерафінованої олії — 5,34 млн т [1].

Динаміка виробництва нерафінованої соняшникової олії за 2010—2018 рр. в Україні: у 2010 р. вироблено 2990 тис. т; у 2011 — 3177 тис. т; у 2012 — 3804 тис. т; у 2013 — 3403 тис. т; 2014 — 4401 тис. т; 2015 — 3716 тис. т; 2016 — 4412 тис. т; у 2017 — 5212 тис. т; у 2018 — 5340 тис. т. [1]. Збільшення виробництва нерафінованої соняшникової олії за період 2010—2018 рр. склало 1,8 раза.

У 2018 р. Україна займає 58% обсягів експорту соняшникової олії. Олійно-жировими підприємствами було експортовано 5,6 млн т соняшникової олії. Виручка від експорту олії склала 54,1 млрд грн [2]. Структура експорту вітчизняної соняшникової олії за країнами складала: Індія — 39,5%, Китай — 9,5%, Ірак — 5,8%, Нідерланди — 5,7%, Іспанія і Італія — 5,3%, інші — 33,9% [2].

Основними експортерами соняшникової олії є підприємства олійно-жирової галузі: ТОВ «Кернел-Трейд», частка експорту якого складає 22,19%; ДП «Сан-трейд» — 8,57%; ТОВ «АТ Каргілл» — 6,46%; ТОВ «АДМ Трейдинг Україна» — 3,7%; ТОВ «Ді Енд Ай Еволюшн» — 3,3%; ТОВ «ОЛСІДЗ БЛЕК СІ» — 3,0%; ТОВ «Дельта Вілмар СНД» — 2,8% [2]. Частка експорту олії ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» складає 1,5%.

Вітчизняні компанії олійно-жирової галузі зацікавлені у збільшенні обсягів експорту, тому є активними учасниками впровадження екологічного менеджменту шляхом сертифікації за міжнародними стандартами ДСТУ ISO 9001-2001 і ДСТУ ISO 14001.

Практичне використання засад екологічного менеджменту в олійно-жировій галузі можливе за умови моніторингу екологічного стану виробництва, наукового та консалтингового забезпечення заходів зі зміни сировини, технологій, асортименту продукції, використання альтернативних джерел енергії, впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій, утилізації та використання промислових відходів.

В Україні на законодавчому рівні функціонують такі форми екологічного менеджменту на підприємствах:

1. Система екологічного менеджменту щодо забезпечення екологічної безпеки підприємств згідно з ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.

2. Система екологічного менеджменту, що вмонтована у систему управління якістю згідно з міжнародним стандартом ДСТУ ISO 9001-2001.

3. Система екологічного менеджменту відповідно до міжнародного стандарту ДСТУ ISO 14001. Система управління навколишнім середовищем. Склад та опис елементів і настанови щодо їх застосування [3, с. 55].

Відповідно до міжнародного стандарту серії ISO 14000 впровадження екологічного менеджменту передбачає такі етапи:

- попередній аналіз ситуації, що склалася, та виявлення всіх вимог до елементів екологічного менеджменту, які вже застосовуються на підприємстві;
- розробка декларації про екологічну політику підприємства, яка б детально відображала всі екологічні аспекти його діяльності;
- створення структури розподілу обов'язків і відповідальності в системі екологічного менеджменту;
- оцінка впливу підприємства на навколишнє середовище;
- розробка екологічних цілей і завдань підприємства;
- виявлення стадій виробництва, процесів і видів діяльності, що можуть впливати на стан довкілля, розробка системи контролю за цими процесами;
- розробка програми екологічного менеджменту, яка б враховувала вплив на навколишнє середовище життєвого циклу видів продукції, запланованих до виробництва, та визначення відповідальної особи за виконання програми;
- розробка і публікація детального опису системи екологічного менеджменту підприємства, який врахував би всі аспекти його впливу на навколишнє середовище;
- встановлення системи реєстрації всіх екологічно важливих подій, видів екологічної діяльності, випадків порушення вимог екологічної політики;

- встановлення на підприємстві системи внутрішнього аудиту за наданими у стандарті рекомендаціями. Результати внутрішнього аудиту можуть підлягати зовнішній перевірці незалежною третьою стороною [4].

ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» займав у 2017 р. 6,72% вітчизняного ринку соняшникової олії, у 2018 р. — 6,7% [5, с. 84—85]. Пріоритетом діяльності ПрАТ «Вінницький ОЖК» є випуск продукції, яка конкурентоспроможна та відповідає сучасним вимогам якості та безпеки. Підприємство виробляє широкий асортимент високоякісної продукції, яка реалізується великої кількості споживачів. Асортимент продукції складає понад 60 найменувань, продукція виробляється під торговельною маркою «Віолія». Коефіцієнт використання виробничої потужності за 2018 р. складає 87,3% [5, с. 67]. Додаткова потужність за 2010—2018 рр. збільшилася у 4 рази (з 750 т у 2010 р. до 2900 т у 2018 р.).

На ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» функціонує інтегрована система управління (ІСУ) якістю та безпечністю харчових продуктів і кормових продуктів (шроту), яка відповідає вимогам ДСТУ ISO 9001:2009 та ДСТУ ISO 22000:2007. Комбінат сертифікований за системою екологічної сталості (ISCC) за міжнародним стандартом ISO 14001:2015.

Впровадження системи екологічного менеджменту на ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» позитивно вплинуло на:

- 1) забезпечення конкурентоспроможності підприємства на внутрішньому і зовнішньому ринках;
- 2) посилення соціальної відповідальності підприємства не тільки на рівні регіону, а й на рівні країни;
- 3) підвищення конкурентоспроможності власного персоналу, особливо в питаннях екологічної політики і корпоративної культури;
- 4) підвищення конкурентоспроможності продукції, що відобразилося на рівні якості, маркуванні для збільшення попиту серед споживачів;
- 5) впровадження ресурсозберігаючих технологій зі зниженням витрат на електроенергію, теплоенергію та інші ресурси;
- 6) суттєве скорочення шкідливих викидів у атмосферне повітря, стічні води та обсягів відходів.

На підприємстві діють технології з раціонального використання електро-, водо- і теплоресурсів. Шкідливі викиди контролюються з визначеною періодичністю і не перевищують допустимих норм. Керівництво постійно працює над впровадженням екологічно чистих технологій, які зменшують забруднення навколишнього середовища, дотримується чинних екологічних законів. Динаміка використання ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» електроенергії за період 2010—2018 рр.: у 2010 р. — 115,2 кВт·год /т, у 2011 — 95,3 кВт·год /т, у 2012 — 86,5 кВт·год /т, 2013 — 76,1 кВт·год /т, 2014 — 67 кВт·год /т, 2015 — 68,2 кВт·год /т, 2016 — 66,4 кВт·год /т, 2017 — 66,3 кВт·год /т, 2018 — 66,2 кВт·год/т [6]. Отже, зниження використання комбінатом електроенергії за період 2010—2018 рр. склало 57,6%.

З метою раціонального використання енергоресурсів на комбінаті діє власна котельня для спалювання лушпиння соняшнику, яке утворюється на олійно-екстракційних заводах при переробці насіння. Отримана пара використовується у технологічних процесах на виробництвах комбінату та для опалення. Динаміка

використання ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» теплової енергії за 2010—2018 рр.: у 2010 р. — 0,56 Г кал/т, у 2011 — 0,36 Г кал/т, у 2012 — 0,32 Г кал/т, 2013 — 0,26 Г кал/т, 2014 — 0,21 Г кал/т, 2015 — 0,21 Г кал/т, 2016 — 0,20 Г кал/т, 2017 — 0,20 Г кал/т, 2018 — 0,20 Г кал/т [6]. Отже, зниження використання комбінатом теплової енергії за 2010—2018 рр. склало 35,7%.

Використовуються безвідходні технології виробництва, переважна кількість відходів реалізується як готовий продукт. Постійно проводяться заходи з впровадження екологічно чистих технологій з метою дотримання екологічного законодавства.

Згідно з політикою ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» у сфері екології керівництво усвідомлює свою повноту соціальної відповідальності за збереження життя та здоров'я учасників виробничої діяльності та дбає про недопущення шкідливого впливу на екологію, виключивши із практики будь-які випадки завдання шкоди здоров'ю людей та забрудненню навколишнього середовища.

На підприємстві забезпечується:

- функціонування і підтримка інтегрованої системи екологічного менеджменту відповідно до чинного законодавства України у сфері природоохоронного законодавства та міжнародних стандартів ISO 14001:2015;
- створення здорових та безпечних умов праці за рахунок досягнення безпечного рівня виробничих процесів, безперервного поліпшення існуючих і розробок нових технологій, що відповідають сучасному стану досягнень вітчизняної та світової науки і техніки, керуючись принципом пріоритетності збереження життя і здоров'я працівників з урахуванням результатів виробничої діяльності;
- ведення контролю над скидами забруднюючих речовин у водні об'єкти та викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- безпечне поводження з відходами на підприємстві та роздільне сортування твердих побутових відходів працівниками;
- підвищення ефективності виробничого контролю з управління ризиками щодо небезпек та екологічних аспектів;
- раціональне використання природних ресурсів;
- підвищення рівня компетентності персоналу у сфері екології, професійної безпеки та здоров'я;
- постійне удосконалення інтегрованої системи екологічного менеджменту і поліпшення її результативності.

Результати впровадження системи екологічного менеджменту позитивно позначилися на економічних показниках діяльності ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» за 2010—2018 рр.: темпи зростання власного капіталу збільшилися в 16,6 раза, темпи зростання чистого доходу — в 20,4 раза, темпи зростання продуктивності праці — в 21,9 раза [5; 6; 7].

Для оцінки стану екологічного менеджменту пропонується методика інтегрального оцінювання за поширеними показниками, що характеризують стан екологічного менеджменту на підприємствах олійно-жирової галузі, визначених за допомогою експертного опитування (табл. 1).

Таблиця 1. Аналіз узгодженості експертної групи щодо показників стану екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат»

| № | Показники | Середня оцінка | Дисперсія $D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$ | Середньоквадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D}$ | Коефіцієнт варіації $CV_\sigma = \sigma/\bar{x}$ |
|---|---|----------------|---|---|---|
| 1 | Темпи зниження викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря на 1 т перероблюваного насіння | 0,209 | 0,00132 | 0,03633 | 17,38 |
| 2 | Темпи зниження використання електроенергії на 1 т готової продукції | 0,176 | 0,000337 | 0,01836 | 10,43 |
| 3 | Темпи зниження використання теплової енергії на 1 т перероблюваного насіння | 0,168 | 0,00191 | 0,0437 | 26,01 |
| 4 | Темпи зростання чистого доходу від реалізації продукції | 0,122 | 0,000353 | 0,01879 | 15,40 |
| 5 | Коефіцієнт ресурсоемності виробництва | 0,114 | 0,000988 | 0,03143 | 27,57 |
| 6 | Коефіцієнт матеріаловіддачі | 0,109 | 0,0001197 | 0,01094 | 10,04 |
| 7 | Коефіцієнт фондівіддачі | 0,102 | 0,000177 | 0,0133 | 13,04 |

Примітка: Розрахунки здійснені на підставі експертної оцінки.

Важливо, що для всіх розрахованих значень коефіцієнтів варіації відсутнє перевищення критичного значення ($CV_\sigma \leq 0,33$), тобто група, в основному, однорідна, хоча за окремими показниками оцінки значно коливаються.

Використаємо експертну вагомість показників стану екологічного менеджменту підприємства для розрахунку інтегрального показника, скориставшись формулою багатомірної середньої [8, с. 63]:

$$\bar{x}^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^* d_i}{\sum_{i=1}^n d_i}, \quad (1)$$

де d_i — частка (вагомість) i -го показника за результатами опитування; x_i^* — нормалізовані значення i -го показника стану екологічного менеджменту підприємства. Розрахуємо ці значення за формулою:

$$x_i^* = \frac{x_i}{\bar{x}}, \quad (2)$$

де x_i — фактичне значення i -го показника; \bar{x} — нормативне (середнє) значення.

Водночас враховуються показники-стимулятори та дестимулятори, для яких розраховують обернені значення. Дестимуляторами є такі показники: темпи зниження викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря на 1 т перероблюваного

ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ І МАРКЕТИНГ

насіння, темпи зниження використання електроенергії на 1 т готової продукції, темпи зниження використання теплової енергії на 1 т переробленого насіння, коефіцієнт ресурсоємності виробництва (табл. 2—3).

Таблиця 2. Показники, які характеризують стан екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат», [5; 6; 7]

| № п/п | Роки | Показники стану екологічного менеджменту підприємства | | | | | | |
|------------------|------|---|---|---|---|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Темпи зниження викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря на 1 т переробленого насіння | Темпи зниження використання електроенергії на 1 т готової продукції | Темпи зниження використання теплової енергії на 1 т переробленого насіння | Темпи зростання чистого доходу від реалізації продукції | Коефіцієнт матеріало-віддачі | Коефіцієнт ресурсоємності виробництва | Коефіцієнт оновлення основних засобів |
| 1 | 2010 | 0,7915 | 0,9755 | 0,8484 | 0,9709 | 2,54 | 0,9982 | 0,9504 |
| 2 | 2011 | 0,5734 | 0,8048 | 0,5454 | 1,5860 | 3,02 | 0,9776 | 0,9516 |
| 3 | 2012 | 0,6498 | 0,7305 | 0,4848 | 1,3261 | 1,77 | 0,9744 | 0,958 |
| 4 | 2013 | 0,2879 | 0,6427 | 0,3939 | 1,4339 | 2,24 | 0,9497 | 0,9371 |
| 5 | 2014 | 0,3996 | 0,5658 | 0,3181 | 2,2961 | 3,06 | 0,9926 | 0,9728 |
| 6 | 2015 | 0,3359 | 0,576 | 0,3181 | 14,2008 | 1,44 | 0,9987 | 0,9806 |
| 7 | 2016 | 0,2856 | 0,5582 | 0,303 | 27,9845 | 1,29 | 0,9994 | 0,9793 |
| 8 | 2017 | 0,3376 | 0,5599 | 0,303 | 29,0504 | 1,14 | 1,0236 | 0,9416 |
| 9 | 2018 | 0,3453 | 0,5591 | 0,3181 | 20,4507 | 1,59 | 1,0416 | 0,9053 |
| Середнє значення | | 0,4452 | 0,6636 | 0,4257 | 10,8745 | 2,01 | 0,995 | 0,953 |

Таблиця 3. Нормалізовані показники стану екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат»

| № п/п | Роки | Нормалізовані показники стану екологічного менеджменту підприємства | | | | | | |
|-------|------|---|---|---|---|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Темпи зниження викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря на 1 т переробленого насіння | Темпи зниження використання електроенергії на 1 т готової продукції | Темпи зниження використання теплової енергії на 1 т переробленого насіння | Темпи зростання чистого доходу від реалізації продукції | Коефіцієнт матеріало-віддачі | Коефіцієнт ресурсоємності виробництва | Коефіцієнт оновлення основних засобів |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 2010 | 0,5625 | 0,6803 | 0,5018 | 0,0893 | 1,264 | 0,9969 | 0,9973 |
| 2 | 2011 | 0,7764 | 0,8245 | 0,7805 | 0,1458 | 1,502 | 1,0178 | 0,9985 |
| 3 | 2012 | 0,6851 | 0,9084 | 0,8781 | 0,1219 | 0,88 | 1,0211 | 1,0052 |
| 4 | 2013 | 1,5464 | 1,0325 | 1,0807 | 0,1318 | 1,114 | 1,0477 | 0,9833 |
| 5 | 2014 | 1,1141 | 1,1728 | 1,3382 | 0,2111 | 1,522 | 1,0024 | 1,0208 |
| 6 | 2015 | 1,3254 | 1,1521 | 1,3382 | 1,3059 | 0,716 | 0,9963 | 1,0290 |

Продовження таблиці 3

| | | | | | | | | |
|---|------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 7 | 2016 | 1,5588 | 1,1888 | 1,4049 | 2,5734 | 0,642 | 0,9956 | 1,0276 |
| 8 | 2017 | 1,3187 | 1,1852 | 1,4049 | 2,6714 | 0,567 | 0,9720 | 0,9880 |
| 9 | 2018 | 1,2893 | 1,1869 | 1,3382 | 1,8806 | 0,792 | 0,9553 | 0,9499 |

Інтегральний показник стану екологічного менеджменту підприємства (ІП_{стан ЕМ}) пропонується визначати за формулою:

$$ІП_{\text{стан ЕМ}} = \alpha \cdot T_{\text{CO}_2} + \beta \cdot T_{\text{ел-ен}} + \gamma \cdot T_{\text{теп-ен}} + \delta \cdot T_{\text{чд}} + \varepsilon \cdot K_{\text{м-від}} + \zeta \cdot K_{\text{рес-від}} + \eta \cdot K_{\text{оовз}}, \quad (3)$$

де T_{CO_2} , $T_{\text{ел-ен}}$, $T_{\text{теп-ен}}$, $T_{\text{чд}}$, $K_{\text{м-від}}$, $K_{\text{рес-від}}$, $K_{\text{оовз}}$ — показники, які характеризують стан екологічного менеджменту підприємства (табл. 3); α , β , γ , δ , ε , ζ , η — вагомості показників, які характеризують стан екологічного менеджменту підприємства (розраховані методом експертного опитування) (табл. 1).

Розрахунок інтегрального показника стану екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» наведено у табл. 4.

Таблиця 4. Інтегральний показник стану екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» за 2010—2018 роки

| № п/п | Роки | Нормалізовані показники стану екологічного менеджменту підприємства з урахуванням вагомості | | | | | | | Інтегральний показник стану екологічного менеджменту на підприємстві |
|-------|-----------|---|---|---|---|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| | | Темпи зниження викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря на 1 т перероблюваного насіння | Темпи зниження використання електроенергії на 1 т готової продукції | Темпи зниження використання теплової енергії на 1 т перероблюваного насіння | Темпи зростання чистого доходу від реалізації продукції | Коефіцієнт матеріаловіддачі | Коефіцієнт ресурсоемності виробництва | Коефіцієнт оновлення основних засобів | |
| | Вагомість | 0,209 | 0,176 | 0,168 | 0,122 | 0,109 | 0,114 | 0,102 | 1,0 |
| 1 | 2010 | 0,1176 | 0,1197 | 0,0843 | 0,0109 | 0,1378 | 0,1136 | 0,1017 | 0,6856 |
| 2 | 2011 | 0,1623 | 0,1451 | 0,1311 | 0,0178 | 0,1637 | 0,1160 | 0,1018 | 0,8378 |
| 3 | 2012 | 0,1432 | 0,1599 | 0,1475 | 0,0149 | 0,0959 | 0,1164 | 0,1025 | 0,7803 |
| 4 | 2013 | 0,3232 | 0,1817 | 0,1815 | 0,0161 | 0,1214 | 0,1194 | 0,1003 | 1,0436 |
| 5 | 2014 | 0,2328 | 0,3041 | 0,2248 | 0,0257 | 0,1659 | 0,1143 | 0,1041 | 1,1717 |
| 6 | 2015 | 0,2770 | 0,2028 | 0,2248 | 0,1593 | 0,0780 | 0,1135 | 0,1049 | 1,1603 |
| 7 | 2016 | 0,3258 | 0,2092 | 0,2360 | 0,3139 | 0,0670 | 0,1135 | 0,1048 | 1,3702 |
| 8 | 2017 | 0,2756 | 0,2086 | 0,2360 | 0,3259 | 0,0618 | 0,1108 | 0,1008 | 1,3813 |
| 9 | 2018 | 0,2695 | 0,2089 | 0,2248 | 0,2294 | 0,0863 | 0,1089 | 0,0967 | 1,2245 |

Розраховані інтегральні показники оцінки стану екологічного менеджменту суттєво змінюються за роками і виступають орієнтирами спрямування заходів екологічної політики на перспективу. За 2010—2012 рр. інтегральний показник оцінки стану екологічного менеджменту менше 1, що свідчить про нагальну потребу впровадження екологічних заходів, щоб змінити ситуацію і започаткувати позитивні тенденції. У 2013—2017 рр. відбувається поступове зростання інтегрального показника оцінки стану екологічного менеджменту як результат впровадження системи екологічної сталості (ISCC) за міжнародним стандартом ISO 14001:2015.

У 2018 р. значення інтегрального показника оцінки стану екологічного менеджменту знизилося порівняно із 2017 роком. Це свідчить про те, що керівництву ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» потрібно вжити заходів для посилення вимог екологічної політики підприємства та підвищення стану екологічного менеджменту.

Висновки

Найгострішими проблемами сучасності залишаються екологічні проблеми підприємств олійно-жирової галузі, пов'язані з проблемами шкідливих викидів в атмосферне повітря, стічні води, утилізації відходів. Підприємства олійно-жирової галузі, які ефективно впровадили систему екологічного менеджменту, активно експортують свою продукцію в інші країни. Досвід цих підприємств вимагає наукового узагальнення. Дослідження впровадження системи екологічного менеджменту на ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» показує високу ефективність заходів щодо покращення екологічної ситуації на підприємстві.

Проведена оцінка за допомогою інтегрального оцінювання стану екологічного менеджменту ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» за 2010—2018 рр. засвідчила, що необхідний постійний контроль за дотриманням відповідного стану та систематичне розроблення заходів для забезпечення покращення екологічної політики на підприємстві. Зниження чи стабілізація інтегрального показника стану екологічного менеджменту є сигналом для вибору та реалізації заходів щодо підвищення вимог до підприємства у сфері екологічної політики на перспективу.

Література

1. Олійно-жирова галузь 2020: тенденції, прогнози, перспективи. URL: <https://www.grow-how.in.ua/olivno-zhyrova-haluz-2020-tendentsii-prohnozy-perspektyvy/>.
2. Топ-25 експортерів олії. URL: <https://www.Agravery.com>.
3. Білик О. С. Екологічний менеджмент на промислових підприємствах України: зміст та сутність поняття *Енергозбереження*. *Енергетика. Енергоаудит*. 2012. № 12(106). С. 49—64.
4. ISO 14001:2015. Environmental management systems. Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/home.htm>.
5. Офіційний сайт УкрНДІОЖ УААН [Електронний ресурс]. Олійно-жирова галузі України 2018 рік. Показники роботи олійно-жирових підприємств України за 2018 рік. Інформаційно-аналітичний бюлетень. 2019. № 4(40). URL: <http://www.fatoil.com.ua>.
6. Офіційний сайт ПрАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат» URL: <http://vmzhk.vioil.com/reports.html>.
7. Офіційний сайт Головного управління статистики у Вінницькій області. URL: www.vn.ukrstat.gov.ua/index.php/statistical-information/2018.
8. Плюта В. Сравнительный анализ в экономических исследованиях: Методы таксономии и факторного анализа: пер. в научной редакции В. М. Жуковой. Москва: Статистика. 1980. 151 с.
9. Драган О. І., Лозовська Н. М. Особливості процесу ідентифікації екологічних аспектів на підприємствах харчової промисловості *Наукові праці НУХТ*, 2015. № 3. С. 35—41.
10. Михайлова М. Д., Костенко О. К. Переваги та недоліки впровадження системи екологічного менеджменту та сертифікації на промислових підприємствах *Агросвіт*. 2016. № 7 С. 57—60.
11. Системи екологічного управління: сучасні тенденції та міжнародні стандарти. Посібник / С. В. Берзіна, І. І. Ярьєцьковська та ін. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 134 с.
12. European Bank for Reconstruction and Development Guide to Environmental and Social Issues <https://www.ebrd.com/downloads/research/policies/esp-final.pdf>.

HEALTH CAPITAL AS THE BASIC COMPONENT OF HUMAN CAPITAL

G. Kundieieva

National University of Food Technologies

Key words:

Economic growth
Human capital
Health capital
Life expectancy

Article history:

Received 25.03.2020
Received in revised form
08.03.2020
Accepted 22.04.2020

Corresponding author:

G. Kundieieva
E-mail:
g_a_k@ukr.net

ABSTRACT

Nowadays the concept of human capital becomes the basis for the development of programs for the development of education, science and health. Human capital has become a major factor in the development of society, the economy and the state as a whole, in the study of which it is important to know its structure, sources of origin and the formation of the concept of “health capital”.

The purpose of the work is to evaluate the health capital as a determinant of human capital, which includes the structure of the population of Ukraine, life expectancy, fertility, morbidity and mortality rate of the population of the country and the relationship between the health of the population and the dynamics of GDP of the country.

Multidimensional analysis of the system of economic relations associated with the formation, development and functioning of human capital and health capital in particular, means the need to use common scientific methods and techniques of cognition, as well as a number of specific methods and techniques that complement each other, namely: systematic approach, structural-functional and structural-logical analysis, evolutionary, historical approaches, methods of analogy, generalization, economic-statistical method and modeling.

Currently, the concept and theory of human capital, its structure and types, the nature of formation and losses, the main factors of reproduction and development are elaborated in detail. However, there is a need to study the socio-economic problem of health capital, identify the factors that affect its formation and development. The study considers health capital, on the one hand, as a component of human capital, on the other, as an independent category in the context of subjective and objective factors of quality of life. The economic content and nature of the health capital category of the nation as a specific resource and a major asset of human capital have been clarified. The main qualitative characteristics of health capital and problems of its formation are specified, which allowed to define new approaches to the analysis of the process of creation and accumulation of this specific type of capital. There is a close relationship between the country’s GDP and life expectancy and death rates in Ukraine.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-2-10

КАПІТАЛ ЗДОРОВ'Я ЯК БАЗОВИЙ КОМПОНЕНТ ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ

Г. О. Кундєєва

Національний університет харчових технологій

У статті проведено аналіз наукових надбань, що дало змогу визнати концепцію людського капіталу як основу для розробки програм розвитку систем освіти, науки та охорони здоров'я. Досліджено трансформацію людського капіталу в головний фактор розвитку суспільства, економіки та держави загалом через структуру, джерела зародження і формування капіталу здоров'я.

Здійснено оцінку капіталу здоров'я як визначального стану людського капіталу, що включає структуру населення України, тривалість життя, народжуваність, рівень захворюваності та смертності населення країни й залежності між здоров'ям населення і динамікою ВВП країни.

З огляду на необхідність багатоаспектного аналізу системи економічних відносин, пов'язаних з формуванням, розвитком і функціонуванням людського капіталу й капіталу здоров'я зокрема, використано загальнонаукові методи і прийоми пізнання, а також ряд специфічних методів і прийомів, що взаємно доповнюють один одного, а саме: системного підходу, структурно-функціонального та структурно-логічного аналізу, еволюційного, історичного підходів, методи аналогії, узагальнення, економіко-статистичного методу та моделювання.

Визначено структуру та види людського капіталу, характер формування і втрат, основні чинники його відтворення і розвитку. Підкреслено необхідність опрацювання соціально-економічної проблеми капіталу здоров'я, визначення факторів, що впливають на його формування та розвиток. Розглянуто капітал здоров'я, з одного боку, як складову людського капіталу, з іншого — як самостійну категорію, зокрема в контексті суб'єктивних і об'єктивних факторів якості життя. Уточнено економічний зміст і природу категорії капіталу здоров'я нації як особливого ресурсу й основного активу людського капіталу. Визначено основні якісні характеристики капіталу здоров'я та проблеми його формування, що надало можливість окреслити нові підходи до аналізу процесу створення та накопичення цього специфічного виду капіталу. Встановлено існування цільного зв'язку між ВВП країни і тривалістю життя та кількістю померлих в Україні.

Ключові слова: *економічне зростання, людський капітал, капітал здоров'я, тривалість життя.*

Постановка проблеми. *Методологія вивчення здоров'я виділяється його категоріальною специфікою. Здоров'я характеризується високим ступенем складності, що вимагає комплексного та всебічного підходу до його дослідження. В умовах ринкової економіки і становлення нових соціальних відносин визначальна роль належить людині як головному чиннику економічного зростання. Виходячи з цього, збереження і покращення стану здоров'я людини стає предметом економічних дискусій. В економічній теорії здоров'я людини враховується при*

обговоренні питань людського капіталу, трудового потенціалу і трудових ресурсів, а також національного багатства. Поняття «здоров'я» проникає в систему виробничих і суспільних відносин, оскільки здоров'я підвищує рівень і якість життя населення, сприяє розвитку продуктивних сил суспільства та формуванню його трудового потенціалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати емпіричних досліджень впливу здоров'я переконаливо свідчать, що стан здоров'я населення — потужний фактор економічного зростання. Дослідники Д. Блюм, Д. Канінг і Б. Грехам встановили зв'язок між здоров'ям і заощадженнями [1]; С. Калемлі-Озкан, Х. Рудер, Д. Вейл — між здоров'ям та інвестиціями в людський капітал [2]; Д. Томас — між здоров'ям та пропозицією праці [3]; М. Алсан, Д. Блюм, Д. Канінг — між здоров'ям та іноземними інвестиціями [4]; Д. Блюм, Д. Канінг і Дж. Севілла — між здоров'ям і зростанням продуктивності праці [5]. У більшості досліджень стан здоров'я, який оцінюється за показниками «тривалість життя» та «рівень смертності дорослого населення», виявився статистично значущим і важливим прогностичним чинником подальшого економічного зростання. Проте в Україні показник здоров'я населення не враховується при дослідженні економічного зростання (ВВП) країни. Існує нагальна потреба усвідомлення як керівництвом державою, так і суспільством в цілому і окремими громадянами значущості здоров'я з огляду його важливості для розвитку [6, с. 250].

Мета статті: оцінка капіталу здоров'я як визначального стану людського капіталу, що включає структуру населення України, тривалість життя, народжуваність, рівень захворюваності та смертності населення країни й залежності між здоров'ям населення і динамікою ВВП країни.

Викладення основних результатів дослідження. Досліджуючи теорію економічного зростання через сукупність соціально-економічних відносин, що виникають при якісному і кількісному перетворенні умов виробництва на основі ефективного використання обмежених виробничих ресурсів з метою задоволення постійно зростаючих суспільних потреб, необхідно передбачати наявність достатнього для цього процесу ресурсу здоров'я. А. Зон та Дж. Муйскен, запропонували модель економічного зростання, яка враховує здоров'я населення [7]. На думку вчених, зниження рівня здоров'я населення призводить до зниження кількості праці як фактора виробництва, але процес покращення здоров'я потребує ресурсів. Вчені довели, що існує тісний взаємозв'язок між економічним ростом, витратами на здоров'я (лікування), витратами на догляд, а також взаємозв'язок між витратами на здоров'я і накопиченням знань. А. Зон і Дж. Муйскен підкреслюють значення здоров'я як необхідної передумови економічного зростання та зазначають, що здоров'я є інструментом, завдяки якому реалізується потенціал продуктивності як окремої людини, так і економіки в цілому.

Модель економічного зростання з урахуванням людського капіталу запропонована Р. Барро та Х. Сала-і-Мартіном [8], де вчені доповнили робочу силу та фізичний капітал людським капіталом. Поняття людський капітал ґрунтується на розширеному трактуванні національного багатства (запасів) і капіталу, згідно з ідеями І. Фішера [9]. Теорію І. Фішера розвинули Г. Беккер і Т. Шульц, які визначили людський капітал як наявний у кожної людини запас знань, навичок, мотивацій. Інвестиції в людський капітал вчені ототожнювали з утворенням, накопиченням виробничого досвіду, охороною здоров'я, географічною мобільністю, пошуком інформації [10; 11]. Г. Беккер і Т. Шульц вважали, що людина

стає капіталом тільки будучи суб'єктом економічної діяльності, тобто коли здійснені інвестиції починають працювати і приносити прибуток. Складовими людського капіталу, на думку Г. Беккера, є капітал освіти; капітал здоров'я; капітал професійної підготовки; капітал міграції; володіння економічно значущою інформацією; мотивація до економічної діяльності [10].

Вчений проводить аналогію між інвестиціями в капітал здоров'я та інвестиціями в інші форми людського капіталу. Інвестиції в здоров'я, на думку Г. Беккера, сприяють зменшенню захворювань і смертності, продовжують працездатне життя людини, отже, і час функціонування людського капіталу. Відбулася зміна організаційної парадигми — уявлення про людину як про індивідуальний фактор виробництва, який необхідно враховувати і, якщо є можливість, розраховувати, змінилися на уявлення про людину як центральний елемент виробництва, що зв'язує власною активністю всі інші елементи і помітною мірою визначає ефективність та зростання виробництва в цілому.

Значний внесок у розробку теорії людського капіталу, що враховує компоненту здоров'я, зробив М. Гроссман, який вперше ввів термін «капітал здоров'я» в економічну теорію у 1978 р. [12]. Вчений як методологічну основу використовував теорію людського капіталу Г. Беккера і Т. Шульца. У розумінні М. Гроссмана здоров'я має подвійну природу і може розглядатися як споживче благо та як засіб для отримання прибутку. Саме у другому випадку воно є складовою частиною людського капіталу та об'єктом інвестиційних вкладень [12].

На думку М. Гроссмана, поняття «капітал здоров'я» та «людський капітал» краще розглядати окремо. Вчений пояснював це тим, що навички, які дають змогу заробляти і можливість протягом більшої кількості часу застосовувати ці навички — не одне і те ж: запас знання, яким володіє людина, впливає на її ринкову і неринкову продуктивність, у той час як запас її здоров'я визначає сумарну кількість часу, який людина зможе витратити, заробляючи гроші і виробляючи товари. Згідно з теорією М. Гроссмана, здоров'я — це товар тривалого користування, що є одночасно і інвестиційним, і споживчим товаром, який постійно зношується (амортизує).

На нашу думку, капітал здоров'я є основою для людського капіталу загалом — капітал здоров'я стосовно інших активів людського капіталу виступає ядром (базисом), навколо якого і надбудовуються інші складові. Від якості цього активу суттєво залежить реалізація людського капіталу та економічний і соціальний розвиток суспільства.

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що капітал здоров'я є джерелом доходів, виражених не лише в грошовій формі, але і як психологічний вииграш, моральне задоволення, економія часу, підвищення соціального престижу. Як субстанція капітал здоров'я — це нематеріальне благо тривалого користування, яке накопичується і реалізується в часі. Тобто капітал здоров'я — особлива базова категорія для людського капіталу, що має такі особливості:

- здоров'я людини необхідно починати формувати ще до народження людини (в утробі матері) і підтримувати протягом усього життя, застосовуючи здоров'я-зберігаючу поведінку;

- здоров'я людини неможливо швидко відновити або придбати за короткий термін;

- вкладення в здоров'я людини дають певний результат, але його складно прогнозувати, тому що на капітал здоров'я впливають багато зовнішніх факторів, які можуть впливати на здоров'я людини як позитивно, так і негативно;

- кожна людина має свій капітал здоров'я, обумовлений генетичними особливостями і схильністю до тих чи інших хвороб.

Стан здоров'я тісно пов'язаний з більшою тривалістю життя й тому у здоровіших людей з'являється потужніший стимул до вкладення коштів в освіту і навчання, оскільки швидкість амортизації придбаних кваліфікацій буде нижчою. Особи, які мають міцне здоров'я, вважають, що проживуть довше, і тому більше схильні до накопичення, ніж ті, у кого здоров'я погане. Тож якщо тривалість життя населення зростає, можна чекати (при інших рівних умовах), що більше грошей спрямовуватиметься на накопичення й, відповідно, на зростання ВВП країни.

Для визначення якості капіталу здоров'я проведено аналіз природного приросту/скорочення чисельності населення, тривалості життя українців, дитячої смертності та смертності населення країни від неінфекційних захворювань. Основним домінуючим джерелом накопичення капіталу здоров'я нації є природний приріст. Аналіз природного приросту/скорочення населення України свідчить про затяжну тенденцію скорочення населення країни (рис. 1).

За роки незалежності, починаючи з 1991 р., кількість померлих перевищує кількість народжених. Найбільше природне скорочення населення України, що відбулося протягом 2001—2002 рр. та у 2005 р., склало 7,6 особи на 1000 наявного населення. За останнє десятиліття мінімальне природне скорочення населення було у 2012 р. на рівні 3,1 особи на 1000 наявного населення, у 2016 р. цей показник був на рівні 4,4 особи на 1000 наявного населення. У 2017 р. відбулося зростання до 5,1 особи на 1000 наявного населення (природне скорочення населення становило 210 136 осіб).



Рис. 1. Динаміка природного приросту/скорочення населення України у 2000—2017 рр. (на 1000 наявного населення), [14]

Статистичний аналіз динаміки дитячої смертності на 1000 новонароджених [14] свідчить про існування певної циклічності: з 2000 р. до 2004 р. спостерігалась тенденція до зниження — з 11,9 дитини на 1000 новонароджених до 9,5 дитини на 1000 новонароджених відповідно. У 2005—2008 рр. відбулося зростання до 10 дітей на 1000 новонароджених. Починаючи з 2009 р. і до 2014 р. спостерігалась тенденція до зниження смертності дітей. Причому в 2014 р. цей показник

був на рівні 7,8 дитини на 1000 новонароджених, у 2015 р. цей показник склав 7,9 дитини на 1000 новонароджених, але у 2016 р. — зниження до 7,4 дитини на 1000 новонароджених, у 2017 р. відбулося зростання до 7,6 дитини на 1000 новонароджених. За 27 років становлення незалежності країни майже вдвічі скоротилася кількість дітей. Це, по-перше, підвищення рівня старіння населення країни на найближчу перспективу, а, по-друге, поглиблення демографічної кризи в країні. Для простого відтворення населення країни необхідно, щоб одна жінка народжувала 2,13—2,15 дитини, а нині показник становить 1,37 (найгіршим був у 2001 р., коли коефіцієнт народжуваності на одну жінку склав 1,08 дитини). Негативним є той факт, що рівень захворюваності серед дітей і підлітків високий, а за період навчання у школі кількість здорових дітей з першого до одинадцятого класу зменшується у 3—4 рази [15].

Аналіз статистичних даних вказує на те, що у 2000—2017 рр. середня тривалість життя чоловіків і жінок в Україні складала 69,58 року. Починаючи з 1991 р., тривалість життя скорочувалась до 2005 р., а з 2006 р. маємо сталу тенденцію щодо її зростання (обидві статі). У 2010 р. показник тривалості життя досяг рівня 1990 р. — 70,4 року і спостерігається тенденція до збільшення тривалості життя до 72 років у 2017 році. Причому тривалість життя українських чоловіків за аналізований період не перевищувала 67,02 року, а жінок — 76,78 року, що спостерігалось у 2017 р. (рис. 2).

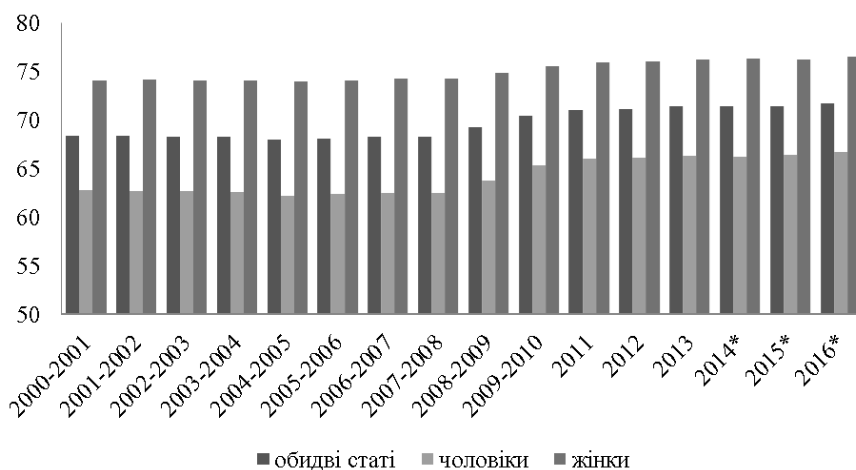


Рис. 2. Динаміка тривалості життя в Україні у 2000—2017 рр., [14]

Заслужує на увагу той факт, що при скороченні чисельності українців за роки незалежності з 51,8 до 42,4 млн осіб, третину від померлих склали люди допенсійного віку. Р. Менон та Б. Фрогнер зазначають, що серед українського населення спостерігається високий ризик смертності у ранньому віці — майже половина дорослого населення, переважно молодь, страждає від одного чи декількох хронічних захворювань [15, с. 7].

Про високі темпи скорочення частки працездатного населення України свідчать розрахунки, здійснені на підставі даних Держкомстату (рис. 3). Максимальна частка активного населення (вік 16—59 років) становила у 2008 р. 64,38%, з 2009 р. спостерігається тенденція її скорочення, особливо у 2014—2016 рр.

(частка активного населення становила 62,71%, 61,78% і 61,25% відповідно), у 2017 р. спостерігалось незначне зростання — до 61,6%. Таке становище можна пояснити окупацією східних територій, анексією Криму, міграцією економічно активного населення України та тенденцією зростання смертності серед населення працездатного віку.



Рис. 3. Динаміка структури працездатного населення та населення похилого віку в Україні, % (2000—2017 рр.), [14]

Проведений аналіз смертності від захворювань (рис. 4) вказує на те, що у 2017 р. тільки 1,6 % смертей було пов'язано з інфекційними хворобами, з яких 87% спричинено туберкульозом і СНІД. Перше місце — 67% смертельних випадків припадало на серцево-судинні захворювання (907 померлих осіб на 100 000 населення), смертність від онкологічних захворювань — 13,6% (187 померлих осіб на 100 000 населення) — це неінфекційні захворювання, що тісно корелюють зі способом життя людини.

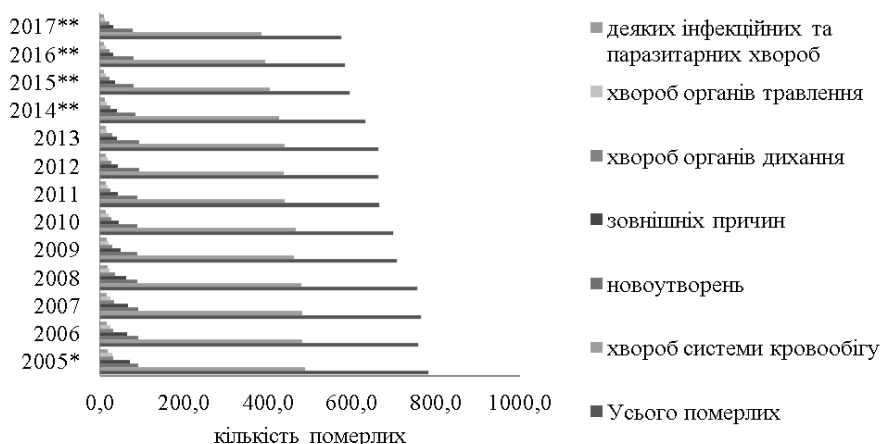


Рис. 4. Динаміка причин смертності в Україні протягом 2005—2017 рр., *за новим класифікатором, **без окупованих і анексованих територій, [14]

Якщо єдиним чинником скорочення населення у країнах з розвинутою економікою є низька народжуваність, то для України існує ще один чинник — висока смертність. Загальна смертність населення та смертність від окремих причин в Україні вдвічі перевищують відповідні показники країн Європейського Союзу, особливо смертність осіб працездатного віку. Такий стан обумовлений існуючою структурою захворювань у країні, де переважають хвороби, летальність від яких дуже висока.

З метою визначення характеру залежності між здоров'ям населення і динамікою ВВП країни досліджено залежність ВВП від тривалості життя та кількості померлих, а також залежність зміни ВВП від природного приросту/скорочення населення. Для цього ми застосували кореляційно-регресійний аналіз. Обчислення й аналіз кореляційної матриці для залежної і незалежних змінних свідчить про: існування прямої залежності між ВВП і тривалістю життя (коефіцієнт кореляції — 0,92); оберненої залежності між ВВП і кількістю померлих (коефіцієнт кореляції — (-)0,93); відсутності залежності між зміною ВВП і природного приросту/скорочення населення (коефіцієнт кореляції — 0,01).

За допомогою пакету Excel розраховані параметри рівняння моделей регресії (рис. 5) для залежності ВВП від кількості померлих. Отримано чотири економічні моделі. Найбільш надійними є лінійна та логарифмічна моделі, оскільки коефіцієнт детермінації є значним та становить 0,86 та 0,87 відповідно. Регресійний аналіз дає змогу визначити цю залежність як оптимальну лінійну.

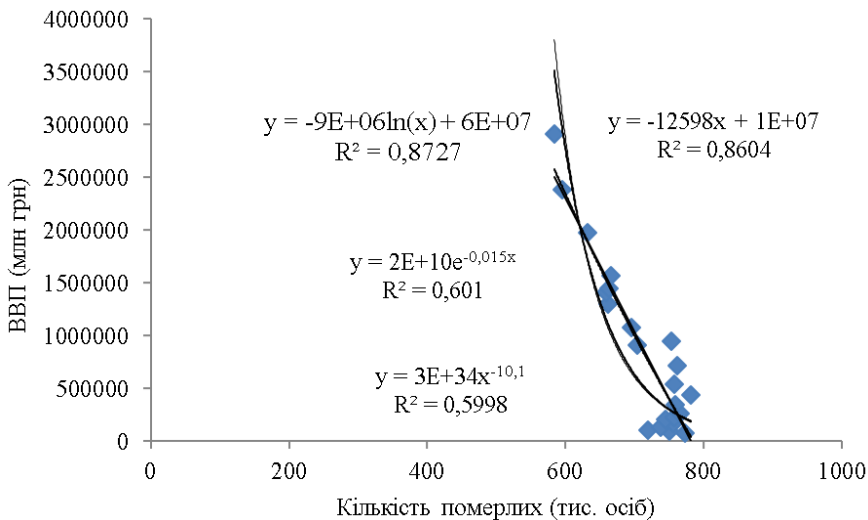


Рис. 5. Варіанти залежності ВВП України від кількості померлих, [14]

Аналогічно досліджено варіанти залежності між ВВП і тривалістю життя (обидві статі). З'ясовано, що найбільш адекватним є варіант лінійної залежності (рис. 6).

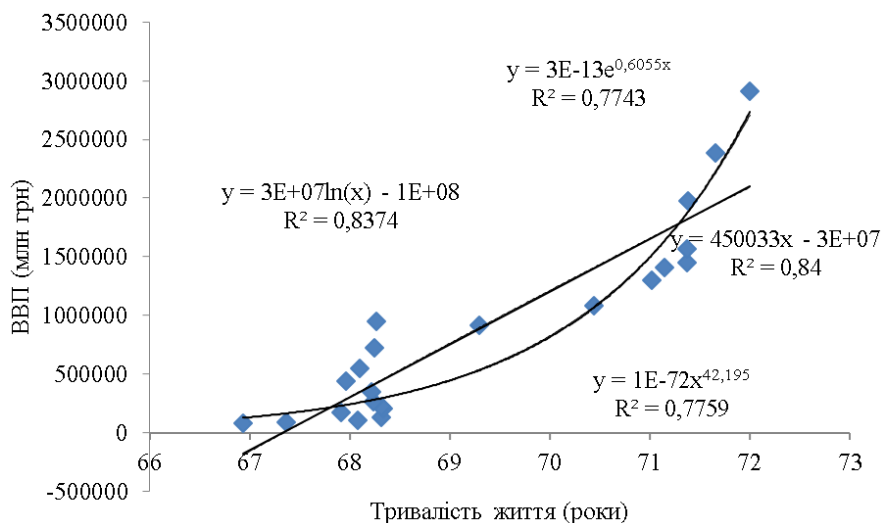


Рис. 6. Моделі залежності ВВП України від тривалості життя (обидві статі), [14]

Для збільшення тривалості життя до 75 років, а саме такий вік притаманний європейському регіону, в державній програмі «Здоров’я 2020: український вимір» [16] визначено, що ВВП країни має зрости на 51%.

Висновки

Капітал здоров’я є базовою основою для формування всіх інших елементів людського капіталу (освіти, професійних і ряду інших навичок, необхідних людині). Тому очевидно, що подовження тривалості життя людини, її працездатного віку і поліпшення якості життя за рахунок збереження здоров’я є чинником економічного зростання. З цього випливає, що першочерговими для держави мають стати проблеми національної системи охорони здоров’я, пов’язані зі зміцненням здоров’я і профілактикою захворювань, та освіти (зміна концепції освіти щодо зміцнення здоров’я населення, яка повинна стати здоров’яформуючою, використовуючи освітній ланцюг: виховання-освіта-просвіта). Вкладення в здоров’я людини слід розглядати не як невиправдані і додаткові витрати держави, а як вкладення в майбутнє держави — в її людський капітал.

Література

1. Bloom D., Canning D. and Graham B. Longevity and life-cycle savings. *Scandinavian Journal of Economics*, 2003. Vol. 105, issue 3. P. 319—338.
2. Kalemli-Ozcan S., Ryder H. and Weil D. Mortality decline, human capital investment and economic growth. *Journal of Development Economics*, 2000. Vol. 62, issue 1. P. 1—23.
3. Thomas D. Health, nutrition and economic prosperity: a microeconomic perspective. *Bulletin of the World Health Organization* 2002, 80 (2). P. 106—113.
4. Alsan M., Bloom D. and Canning D. The effect of population health on foreign direct investment. *World Development*, Elsevier Ltd. 2006. Vol. 34, issue 4. P. 613—630.
5. Bloom D., Canning, D. and Sevilla J. (2002). Health, worker productivity and economic growth. *Journal of Economic Growth*. 2003. Vol. 8. P. 355—378.

6. Рингач Н. О. Здоров'я як складова людського капіталу та запорука розвитку. *Вісник Кам'янець-Подільського національного університету ім. І. Огієнка. Економічні науки*. 2016. Вип. 11. С. 249—258.
7. Van Zon, Muysken J. Health as a principal determinant of economic growth. Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology, Maastricht, August 2003, fourth graft. 35 p.
8. Barro R. Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study. Cambridge: MA, MIT Press, 1997. Ch. 1—3. 164 p.
9. Fisher I. The Nature of Capital and Income. London. 1977. 278 p.
10. Becker G. S. *Human Capital. A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. National Bureau of Economic Research, General Series, New York. Columbia University Press, 1964, Vol. 80. 187 p.
11. Schultz T. Investment in Human Capital. The role of Education and Research. N. Y., London, 1971, 325 p.
12. Grossman M. On the Concept of Health Capital and the Demand for Health, *Journal of Political Economy*. 1972. Vol. 80, issue 2. P. 223—255.
13. Андрианова А. В. Сущность и понятие капитала здоровья как элемента человеческого капитала. *Человек и Вселенная*. 2004. №3 (36). С.10—12.
14. Офіційний сайт Державної служби статистики України URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
15. Менон Р., Фрогнер Б. Основні причини високого рівня смертності в Україні. Київ: ВЕРСО-04, 2010. 60 с.
16. Здоров'я — 2020: український вимір. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=49269.

FEATURES OF DEVELOPMENT AND PRESENTATION OF BUSINESS PROJECTS

H. PENCHUK, L. ZAKREVSKA

National University of Food Technologies

Key words:

*Business project
Presentation
Investment
Marketing plan
Confidentiality*

Article history:

Received 27.03.2020
Received in revised form
10.04.2020
Accepted 24.04.2020

Corresponding author:

H. PENCHUK
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the features of the development and presentation of business projects. The article reveals the essence of the concept of a business project as a complex document that fully reflects all aspects of an entrepreneurial idea and represents a formal proposal aimed at practical implementation. The existing classifications and methods for developing business projects are presented. The main stages of the business project life cycle are defined and its typical structure is presented. It is stated that the business project must necessarily cover the existing risks and insurance methods, as well as evaluate its effectiveness. Groups of indicators that are used to evaluate the effectiveness of a business project are highlighted.

The main and most common mistakes that companies make when developing a business project presentation are identified: too long speech, when listening to which investors lose interest in the project; monotony of the speaker's voice, as well as typical templates for speaking without emotion and using gestures; speech with errors or not rehearsing the text of the presentation; using too much visual material or text slides in the text; ignoring the rules of the business style of communication; presenting conclusions in sections of the presentation that meet the needs of the speaker only and ignore the interests of the audience; lack of information about the project team, their ability in the field of Analytics and marketing, etc. Its standard structure and stages of submission of the material are provided.

The rules for developing the presentation of business projects are highlighted. It is proved that the correct development of the project and its presentation provides opportunities for the company: to modernize production; to take new and expand its positions at the market, to make long-term plans for its development, to open new areas of activity; to develop goals and achieve them, to level business risks; to get access to a credit line; to participate in a joint venture; to convey business ideas and entrepreneurial solutions to the investor, to attract his attention and attract external resources.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБЛЕННЯ ТА ПРЕЗЕНТАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЄКТІВ

Г. С. Пенчук, Л. М. Закревська

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню особливостей розроблення та презентації бізнес-проектів. Розкрито сутність поняття бізнес-проекту як комплексного документа, який максимально повно відображає всі аспекти підприємницької ідеї і являє собою оформлену пропозицію, спрямовану на її практичне впровадження. Представлено існуючі класифікації та методики розроблення бізнес-проектів. Визначено основні етапи життєвого циклу бізнес-проекту та подано його типову структуру. Зазначено, що у бізнес-проекті обов'язково необхідно висвітлювати наявні ризики і шляхи страхування, а також надавати оцінку його ефективності. Виділено групи показників, за якими оцінюють ефективність бізнес-проекту.

Виявлено основні та найпоширеніші помилки, яких допускаються підприємства під час розроблення презентації бізнес-проектів: занадто тривалий виступ, при прослуховуванні якого інвестори втрачають інтерес до проекту; монотонність голосу оратора, а також типові шаблони для виступу без емоційності і використання жестів; мова з помилками або невідрепетитований текст презентації; використання в тексті занадто великої кількості наочного матеріалу або текстових слайдів; ігнорування правил ділового стилю спілкування; викладення в розділах презентації висновків, що задовольняють потреби виключно виступаючої сторони та ігнорують інтереси слухачів; відсутність у презентації відомостей про команду проекту, їхні здібності у сфері аналітики та маркетингу тощо. Надано її стандартну структуру та етапи подачі матеріалу.

Виокремлено правила розробки презентації бізнес-проектів. Доведено, що правильне розроблення проекту та його презентації надає можливості підприємству модернізувати виробництво; займати нові і розширювати свої позиції на ринку, складати перспективні плани свого розвитку, відкривати нові напрями діяльності; розробляти цілі організації та досягати їх, нівелювати ризики бізнесу; дістати доступ до кредитної лінії; брати участь в спільному підприємстві; донести до інвестора бізнес-ідеї та підприємницькі рішення, привернути його увагу та залучити зовнішні ресурси.

Ключові слова: бізнес-проект, презентація, інвестиції, план маркетингу, конфіденційність.

Постановка проблеми. В ринковій економіці бізнес-проект є документом, який використовується в усіх сферах роботи підприємства. Загалом, правильне розроблення проекту та його презентації надає можливості підприємству модернізувати виробництво; займати нові і розширювати свої позиції на ринку, складати перспективні плани свого розвитку, відкривати нові напрями діяльності; розробляти цілі організації та досягати їх, нівелювати ризики бізнесу; мати доступ до кредитної лінії; брати участь в спільному підприємстві; донести до

інвестора бізнес-ідеї та підприємницькі рішення, привернути його увагу та залучити зовнішні ресурси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості розроблення та презентації бізнес-проектів висвітлено у працях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених, серед яких: В. Н. Беседіна, А. Ю. Беліков, Н. А. Волгіна, І. З. Должанський, Т. О. Загорна, С. А. Карташова, Н. Я. Коваленко, О. В. Короткова, О. М. Левченко, А. А. Нікіфорова, В. М. Попов, В. А. Савченко та ін. Незважаючи на різноплановість і глибину проведених досліджень, у вітчизняній науці недостатньо приділяється уваги визначенню сутності, значенню та функцій бізнес-проекту, вимог до його змісту та структури; розробленню методики розрахунку ключових показників, що свідчать про доцільність реалізації бізнес-ідеї, обґрунтуванню доцільності реалізації розробленого бізнес-проекту підприємства тощо.

Метою статті є дослідження особливостей розроблення та презентації бізнес-проектів.

Викладення основних результатів дослідження. Бізнес-проект — це комплексний документ, який максимально повно відображає всі аспекти підприємницької ідеї і являє собою оформлену пропозицію, спрямовану на її практичне впровадження [2].

Розроблення бізнес-проекту — це складний процес, який передбачає вибір відповідної методики що передусім залежить від його виду.

Нині існує велика кількість видів бізнес-проектів, які класифікують за різними ознаками (рис.).

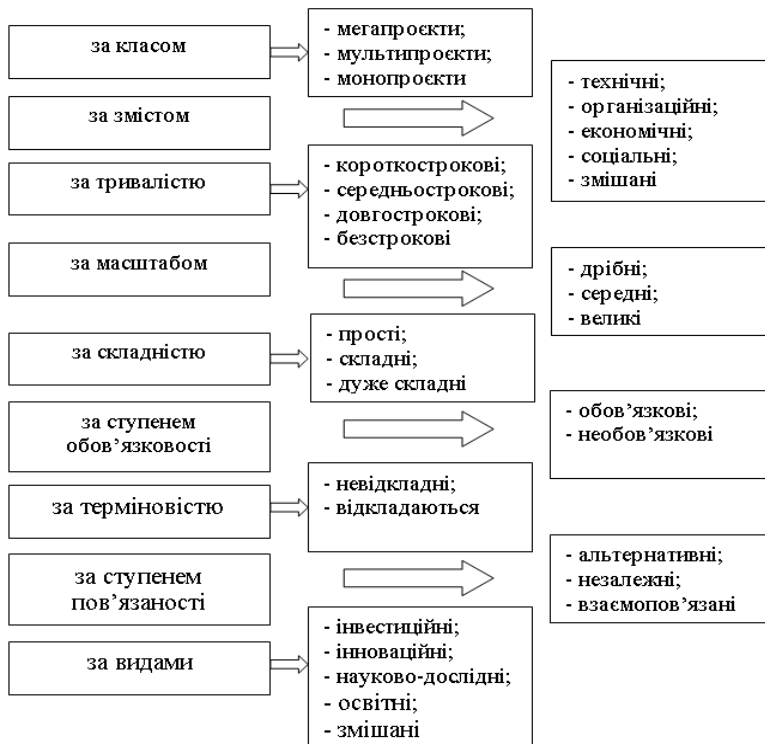


Рис. Класифікація бізнес-проектів, [2]

Дані рисунка свідчать, що розглянуті бізнес-проекти мають велику кількість відмінностей, але це тільки на перший погляд. Їх об'єднує послідовне проходження основних етапів життєвого циклу бізнес-проекту, що характеризуються різною тривалістю і витратами на їх проходження:

1. Виникнення підприємницької ідеї та складання бізнес-плану.
2. Розробка бізнес-проекту та подання його на впровадження.
3. Впровадження бізнес-проекту і вихід на ринок.
4. Розвиток запропонованої в бізнес-проекті справи.
5. Вихід з ринку у зв'язку із зростанням ризику визнання підприємства банкрутом.
6. Впровадження нового бізнес-проекту, перехід до якого було передбачено, що і є початком першого етапу життєвого циклу нового бізнес-проекту.

Якщо розглядати життєвий цикл бізнес-проекту з точки зору інвестора, то сукупність другого, третього і четвертого етапів можна назвати етапом реалізації проекту, яка складається з трьох фаз:

1. Передінвестиційної, під час якої визначаються інвестиційні можливості, надається агрегована оцінка існуючим альтернативним проектам, аналізуються загальні (макропідхід) і приватні (мікропідхід) можливості обраного проекту, проводиться попереднє і детальне обґрунтування доцільності інвестування в даний проект.

2. Інвестиційної, під час якої готуються установчі документи, відбувається узгодження організаційної структури управління і контролю за реалізацією проекту, придбання технології, детальне планування і проектування реалізації проекту, підписання необхідних контрактів і договорів, будівництво будівель, споруд та встановлення обладнання, навчання персоналу, введення в експлуатацію потужностей підприємства, проведення передвиробничого маркетингу для підготовки споживача до нововведення.

3. Виробничої, під час якої розпочинається ведення господарської діяльності підприємства, повернення кредитів і виплата дивідендів [2].

Нині існує досить широкий вибір вітчизняних та зарубіжних методик розроблення бізнес-проекту, серед яких найбільшу популярність на ринку України отримали:

- методика «UNIDO» і її електронна версія «COMFAR», яка розроблена ООН з промислового розвитку для країн з підготовки промислових техніко-економічних обґрунтувань;

- методика фірми «Goldman, Sachs&Co», яка є лідером інвестиційного бізнесу;

- методика інтернаціонально консультативно-аудиторської фірми «Ernst&Young»;

- методика Всесвітнього банку реконструкції та розвитку.

Окрім вище зазначених, інвестори використовують і власні методики та правила розроблення бізнес-проектів, але, незважаючи на таку різноманітність, всі вони мають певні принципи побудови, які несуттєво відрізняються один від одного.

Загалом, бізнес-проект складається з восьми розділів, які тісно пов'язані між собою:

1. Титульний аркуш, на якому зазначається:

- найменування підприємства, посада та прізвище особи, до якої направляється бізнес-проект;
- найменування, адреса та засоби зв'язку з підприємством, що впроваджує проект;
- повне найменування проекту;
- коротке найменування проекту;
- прізвище та засоби зв'язку з автором ідеї і розробником проекту;
- дата початку реалізації проекту;
- тривалість проекту;
- актуальність даних проекту;
- дата складання.

2. Меморандум про конфіденційність. На практиці вказівка на конфіденційність бізнес-проекту оформляється так: «Цей бізнес-проект є конфіденційним. Він є власністю поименованих у ньому осіб і призначений для використання лише тими особами, яким передається. Копіювання й використання іншими способами будь-яких елементів його змісту забороняється без попереднього погодження з фірмою» [3].

3. Анотація та резюме. Анотація — це максимально коротка інформація про запропонований бізнес-проект і основні його результати. Максимальний її обсяг — одна сторінка, яка містить таку інформацію:

- суть запропонованого проекту та місце реалізації;
- результати реалізації;
- необхідні ресурси;
- основні фінансово-економічні показники;
- запропонована форма та умови участі інвестора;
- гарантії з повернення інвестицій.

Резюме — це короткий (3 сторінки) огляд підприємницького проекту, його ключових, найбільш важливих і значущих аспектів, здатних привернути увагу потенційного інвестора та зацікавити його в подальшому детальнішому вивченні бізнес-проекту [3]. У ньому наводиться така інформація:

- суть проекту;
- ефективність проекту;
- відомості про підприємство, що реалізує проект;
- механізм управління проектом;
- фінансування проекту;
- план та гарантії повернення інвестицій.

Зазначені розділи повинні бути розташовані на початку бізнес-проекту хоча розробляються вони в останню чергу після написання й оформлення всіх інших.

Розроблення й оцінка бізнес-проекту розпочинається з плану маркетингу, який є найбільш складним і трудомістким розділом виконуваної роботи.

4. План маркетингу. У нього включаються відомості про стан галузі на міжнародному ринку, її експортні можливості, а також виробничо-господарські зв'язки з іншими галузями народного господарства, які будуть зацікавлені в

пропонованій продукції. Задля зручності написання цей розділ можна розбити на декілька підрозділів, а саме:

4.1. Опис товару. У цьому підрозділі необхідно подати наочне і переконливе уявлення про товар. Це може бути фотографія, малюнок або просто його опис, який включає:

- найменування товару;
- короткий опис і основні його характеристики;
- призначення, сфера застосування, перспективність випуску та конкурентоспроможність;
- ступінь готовності до виробництва;
- наявність і необхідність ліцензій, сертифіката якості та інших документів;
- безпеку й екологічність;
- опис упаковки;
- гарантії на товар;
- особливості оподаткування та наявність різних пільг у процесі його виробництва і реалізації.

4.2. Ринок споживача, який передбачає надання інформації про споживчі характеристики товару задля переконання інвестора в існуванні реального ринку збуту товару і у здатності його реалізувати.

4.3. Ринок виробника (конкурентів). Аналіз ринку конкурентів можна розділити на дві частини: загальний аналіз і детальний аналіз. Загальний аналіз включає визначення потенційних конкурентів і оцінку рівня конкуренції на ньому. Детальний аналіз включає визначення та оцінку конкурентоспроможності основних конкурентів, їхні сильні та слабкі сторони і розробку основних напрямів реалізації товару на цьому ринку.

4.4. Ринок цін. Аналіз ринку цін починається з аналізу вже сформованих цін на ідентичні, подібні товари або товари замітники (субститути) у конкурентів. Визначаються основні межі коливання цін, на підставі чого розраховуються мінімальні, максимальні і середні ціни на реалізацію пропонованого товару. Потім проводиться опитування потенційних споживачів, в результаті якого визначаються мінімальна, максимальна і середня ціна товару. У результаті зіставлення отриманої інформації робляться попередні висновки про рівень і гранично допустимі коливання оптимальних цін на пропонований товар.

4.5. Просування товару на ринку. Описуються шляхи та методи просування товару на ринок.

5. Виробничий план. У цьому розділі бізнес-проєкту необхідно надати наступну інформацію:

- місце розташування підприємства і розвиток інфраструктури регіону;
- забезпеченість земельними площами;
- альтернативні варіанти розміщення підприємства;
- забезпеченість виробничими площами та приміщеннями;
- забезпеченість транспортом, зв'язком, енергетичним та інженерним обладнанням;
- технологія, якість і сертифікація виробництва;
- необхідне обладнання, оснащення, інструмент;

- необхідні ресурси;
- постачальники сировини та матеріалів;
- циклограма виробництва і реалізації продукції;
- екологічність і безпеку виробництва.

Якщо є можливість, вся інформація заноситься в таблиці.

6. Організаційний план. У цьому розділі бізнес-проєкту необхідно надати таку інформацію:

- підтримка і різного виду пільги в організації бізнесу;
- команда управління і провідні спеціалісти;
- основні партнери по реалізації проєкту;
- штатний розклад підприємства;
- режим роботи;
- оплата праці і стимулювання працівників підприємства;
- контракти, договори та посадові інструкції з працівниками.

Розробка організаційного плану базується на юридичних документах, основний з яких Кодекс законів про працю.

7. Юридичний план, у якому вказуються законодавчі, нормативні та інші документи, що мають правову силу і ставлення до даного проєкту, в тому числі:

- установчі документи підприємства;
- ліцензії;
- патенти, авторські права;
- сертифікати;
- особливості оподаткування підприємства;
- договори та гарантійні листи.

8. Фінансовий план. Це останній розділ розробки бізнес-проєкту, який дає кількісну оцінку всієї проведеної роботи. Обов'язково необхідно висвітлити наявні ризики і шляхи страхування проєкту, а також надати оцінку його ефективності.

Загалом розрізняють чотири основні групи показників, за якими оцінюють ефективність бізнес-проєкту [1]:

1. Показники комерційної ефективності, що враховують фінансові наслідки реалізації проєкту для його безпосередніх учасників (фінансова спроможність проєкту, економічна ефективність інвестицій).

2. Показники бюджетної ефективності, що відображають фінансові наслідки здійснення проєкту для федерального, регіонального та місцевого бюджету (бюджетний ефект).

3. Показники економічної ефективності, що враховують витрати й результати, пов'язані з реалізацією проєкту, що виходять за межі прямих фінансових інтересів учасників інвестиційного проєкту й допускають вартісне вимірювання.

4. Показники оцінки соціальних та екологічних наслідків проєкту, а також витрат, пов'язаних із соціальними заходами та охороною навколишнього середовища.

Однак, незважаючи на таку складну і ємну структуру, бізнес-проєкт не повинен бути дуже переповнений складними термінами, бо це навряд зацікавить інвестора, який, можливо не розбирається у них досконало. Такі ж самі принципи

покладені і в основу презентації бізнес-проєкту, яка також часто буває наповнена великою кількістю інформації, що абсолютно не стосується проєкту. Досить непрофесійно для інвестора виглядає бізнес-проєкт, в якому половина інформації являє особисті досягнення авторів, тридцять відсотків інформації представлена професійними термінами, а на безпосередній опис самого бізнесу відводиться лише двадцять відсотків [5].

Також до основних помилок презентації бізнес-проєкту можна віднести такі моменти [4]:

1. Занадто тривалий виступ, при прослуховуванні якого інвестори втрачають інтерес до проєкту.
2. Монотонність голосу оратора, а також типові шаблони для виступу без емоційності і використання жестів. Або навпаки, прояв зайвих емоцій, що відлякують аудиторію.
3. Мова з помилками або невідрепетитований текст презентації.
4. Використання в тексті занадто великої кількості наочного матеріалу або текстових слайдів. Ідентична ситуація і при занадто низькій кількості ілюстрацій.
5. Ігнорування правил ділового стилю спілкування.
6. Викладення в розділах презентації висновків, що задовольняють потреби виключно виступаючої сторони та ігнорують інтереси слухачів.
7. Відсутність у презентації відомостей про команду проєкту, їх здібності у сфері аналітики та маркетингу.

Інвестиційні компанії звикли вкладати кошти тільки в ті проєкти, керівники яких готові розкрити свої лідерські якості. Приховування ж інформації про об'єкт субсидування, неясно поставлені цілі і завдання проєкту відлякують інвесторів. Тому презентацію бізнес-проєкту варто створювати так, щоб задовольнити обидві сторони.

У стандартну структуру презентації входять такі складові:

1. Опис продукції або послуги.
2. Ринковий сегмент, в якому обов'язково необхідно надати інформацію про конкурентів і зазначити кількість потенційних клієнтів.
3. Маркетингова політика компанії.
4. Першочергові завдання у фінансовому плані.
5. Представлення співробітників, що займаються реалізацією стратегії бізнес-ідеї.
6. Розмір необхідного субсидування та цілі його застосування.
7. Дії, спрямовані на захист інвестицій.

Оптимальним часом презентації прийнято вважати проміжок часу, який не перевищує 20 хвилин. При цьому варто враховувати такі етапи подачі матеріалу [4]:

1. Коротке ознайомлення слухачів з позицією компанії і основними розділами проєкту. Цей етап повинен привернути увагу інвесторів. Його тривалість не перевищує однієї хвилини.
2. Аргументування вибору цього проєкту. Підприємцю варто наводити незаперечні аргументи, що дають змогу інвестору зрозуміти, що саме цей проєкт і

ця компанія є ідеальним варіантом для плідної і довгострокової співпраці. Акцент варто зробити на ознайомленні з конкретним результатом, наявними напрацюваннями, демонстрації професіоналізму співробітників компанії. Максимальна тривалість етапу становить 5 хвилин.

3. Представлення ідеї. Цей етап презентації є найтривалішим — 10 хвилин. Бізнесмен повинен оголосити суть проекту і підкріпити її конкретним матеріалом, що містить покрокові пропозиції, які забезпечують реалізацію ідеї. Важливо приділити увагу докладним характеристикам проекту, зробити акцент на унікальності ідеї. Крім того, в цей етап входить і розбір фінансової складової. Оратор озвучує прибуток і терміни виплати доходу з інвестицій.

4. Підсумки. Цей етап триває не більше 4 хвилин. За цей час доповідач повинен донести до інвесторів, чого вдасться досягти за їх участю. Важливо розвіяти всі сумніви субсидуючої сторони в актуальності проекту.

Наприкінці підприємець зобов'язаний подякувати слухачам за надану можливість ознайомити їх з матеріалом.

Окрім зазначеного, при підготовці презентації необхідно дотримуватися таких правил: для її оформлення використовувати спеціальне програмне забезпечення; готова презентація повинна бути проста і зрозуміла слухачам; доповідачу варто сфокусуватися на основах ідеї і прибрати з текстового представлення багатозначні поняття; доповідач повинен бути готовим до можливих запитань з боку слухачів, на які важливо дати вичерпну і компетентну відповідь; під час доповіді варто згадати про особисті досягнення тощо.

Перед початком виступу гостям заходу варто вручити невеликі брошури, що містять інформацію про бізнес-ідею, характеристики продукції, статті доходів і витрат підприємства, ймовірний рівень прибутку готового бізнесу і супутні ризики.

Висновки

Отже, розроблення бізнес-проекту та його презентація є найважливішими ланками у ході оцінки стратегії розвитку підприємницької ідеї. Цей творчий процес вимагає великої кількості різного роду ресурсів: фінансових, трудових і інтелектуальних. Крім цього, необхідно знати загальні правила оформлення та подання бізнес-проекту інвестору. Фахівці зауважують, що правильно розроблені бізнес-проект та його презентація повинні вказати на ключові його переваги та причини, за яких споживачі повинні будуть платити за певну послугу або товар. При цьому для інвесторів потрібно зазначити суму фінансових коштів, які необхідні підприємству для старту, розширення або підтримки його поточної діяльності. Не варто забувати й про перспективи та можливості зростання, ризики та способи їх нівелювання, список членів команди, партнерів, конкурентів, а також діючих та потенційних клієнтів підприємства. Ця інформація сформує повну картину та допоможе інвесторам прийняти більш зважене рішення щодо фінансування того чи іншого проекту.

Перспективним напрямом досліджень є технології розроблення інноваційних бізнес-проектів, які б забезпечували поінформованість потенційних реалізаторів

проєкту про ймовірність прибутковості проєкту, безпечність його виконання, адаптивність до змін ринкової кон'юнктури.

Література

1. Аналіз капітальних вкладень. Методи відбору та реалізації інвестиційних проєктів. URL: https://stud.com.ua/45529/ekonomika/analiz_kapitalnih_vkladen_metodi_vidboru_realizatsiyi_investitsiynih_proektiv.
2. Беликов А. Ю. Разработка и оценка типового бизнес-проекта: уч. пособ. Иркутск: ФДСЗН, 2011. 90 с.
3. Вимоги до стилю написання та оформлення бізнес-плану. URL: https://studopedia.su/16_62648_vimogi-do-stilyu-napisannya-ta-oformlennya-biznes-planu.html.
4. Как составить презентацию бизнес-проекта. URL: <https://tvoeip.ru/biznes/plan-prezentatsiya>.
5. Короткова О. В. Особливості розроблення та презентації бізнес-планів. *Інвестиції: практика та досвід*. 2013. № 14. С. 34—37.

RISK MANAGEMENT AS AN ESSENTIAL ELEMENT OF ENTERPRISE ECONOMIC SECURITY SYSTEM

N. Skopenko, I. Yevsieieva-Severyna

National University of Food Technologies

Key words:

Risks

Risk management

Identification of risks

Stability risk

Economic security of enterprise

Article history:

Received 18.03.2020

Received in revised form
08.04.2020

Accepted 22.04.2020

Corresponding author:

N. Skopenko

E-mail:

skopnata67@gmail.com

ABSTRACT

The article deals with the interpretation of the concepts of enterprise economic security and risk management. It is considered the structural elements and security factors of enterprises' activity. It is proved the necessity of risk management as an obligatory element of enterprise economic security system. Especially important is the attention of the enterprises focusing on risk identification that can cause negative effects on the enterprises' activity and which should be examined to manage them (effective risk management). It is noted that risk situations are related to each other, one risk situation causes probability of others.

It is proved that identification, analysis and assessment of risks, as stages of risk management, will provide the stability risk and economic security of enterprises. Economic security reflects the ability of the enterprise to ensure sustainable development, both in the current period and in the future, under the influence of negative factors of external and internal environment. It is important to find not only the possible ways of risk reduction but also risk prevention measures, reaction to various kinds of threats for ensuring the enterprise economic security.

Risk management is a basis of enterprise economic security, the ability to react quickly to risk situations. High level of economic security is a guarantee of strong competitive position and stability risk, effective activity of enterprises and their sustainable development. Formation of the economic security system taking into account risk management provides development of the mechanism of protection of enterprises from negative influence of external environmental factors and fast adaptation to changing market conditions.

РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ ЯК НЕОБХІДНА СКЛАДОВА СИСТЕМИ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

Н. С. Скопенко, І. В. Євсєєва-Северина

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню понятійно-категорійного апарату економічної безпеки (розглянуто та уточнено сутність понять «економічна безпека підприємства», «ризик-менеджмент»), виявленню структурних елементів і чинників безпеки виробничо-господарської діяльності підприємств. Обґрунтовано необхідність використовувати ризик-менеджмент як обов'язкову складову системи економічної безпеки підприємств. Акцентовано увагу на необхідності виділення ризиків, що негативно впливають на діяльність підприємства з метою управління ними (ефективний ризик-менеджмент). Наголошено, що ризикові ситуації пов'язані між собою, настання однієї спричиняє інші, що може негативно позначитися на діяльності підприємства. Доведено, що ідентифікація, аналіз, оцінка і врахування ризиків як етапи ризик-менеджменту сприятимуть забезпеченню ризикостійкості та економічної безпеки підприємств, тобто здатності суб'єкта протистояти негативним факторам внутрішнього й зовнішнього середовища і забезпечувати стабільне функціонування та розвиток. Зазначено, що важливим є не тільки пошук можливих шляхів зменшення ризику, а й запобігання ризикам, що потребує розробки запобіжних заходів щодо уникнення ризиків, оперативного реагування на різні види загроз для забезпечення економічної безпеки підприємств.

Доведено, що концентрація уваги на ризик-менеджменті є підґрунтям забезпечення економічної безпеки підприємств, їх захищеності від негативних чинників зовнішнього середовища та здатності швидко реагувати на них з метою мінімізації їх впливу. Високий рівень економічної безпеки є гарантією сильної конкурентної позиції та ризикостійкості, ефективної діяльності підприємств та їх сталого розвитку. Формування системи економічної безпеки з урахуванням ризик-менеджменту сприяє відпрацюванню механізму захищеності підприємств від негативного впливу факторів зовнішнього середовища та швидкій адаптації до мінливих умов господарювання.

Ключові слова: ризики, ризик-менеджмент, ідентифікація ризиків, ризикостійкість, економічна безпека підприємства.

Постановка проблеми. Складність прогнозування кон'юнктури, що проявляється у коливанні попиту та пропозиції, браку ресурсів та негативному впливі кризових явищ, актуалізує проблему використання інструментів ризик-менеджменту як складової системи економічної безпеки виробничих підприємств. Високий рівень економічної безпеки є гарантією сильної конкурентної позиції та ризикостійкості, ефективної діяльності підприємств та їх сталого розвитку. Формування системи економічної безпеки з урахуванням ризик-менеджменту сприяє

відпрацюванню механізму захищеності підприємств від негативного впливу факторів зовнішнього середовища та швидкій адаптації до мінливих умов господарювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми забезпечення економічної безпеки підприємства та ризик-менеджменту присвячені праці зарубіжних і вітчизняних науковців. Вагомий внесок у висвітлення цих питань зробили такі фахівці: С. М. Баранцева, І. А. Білоусова, Т. Г. Васильців, О. А. Грунін, С. О. Грунін, В. А. Забродський, Л. І. Донець, З. Б. Живко, Т. М. Іванюта, І. С. Керницький, С. Ю. Кулакова, К. О. Касмініна, М. В. Карпунцов, Н. Т. Капустін, Т. Л. Мостенська, В. Л. Ортинський, Н. С. Скопенко, І. М. Сосновська, О. В. Шепеленко, І. В. Федулова, М. В. Фоміна та інші [1—15].

Проте, незважаючи на значний науковий доробок, не сформовано єдиного підходу до визначення економічної безпеки підприємства, складових елементів та чинників, що її формують, не наголошено на важливості виділення управління ризиками як необхідного підґрунтя забезпечення ризикостійкості й економічної безпеки, не ідентифіковано взаємозв'язок ризиків, що впливають на ефективність роботи підприємства, та заходів їх протидії.

Метою статті є дослідження та уточнення понятійно-категорійного апарату економічної безпеки; виявлення структурних елементів та чинників, що забезпечують безпеку виробничо-господарської діяльності підприємств, обґрунтування необхідності використовувати ризик-менеджмент як важливої складової системи економічної безпеки підприємств.

Викладення основних результатів дослідження. Трансформаційні процеси, що відбуваються в економіці нашої країни, характеризуються високим рівнем динамізму та швидкістю змін. За таких умов підприємства повинні вміти передбачувати настання несприятливих ситуацій, розраховувати та прогнозувати різні сценарії розвитку подій, швидко адаптуватися до нових умов господарювання.

Напрямок дії факторів внутрішнього й зовнішнього середовища та їх сила впливу можуть мати різну значущість і спрямованість на стан та діяльність суб'єктів господарювання. Вони можуть підсилювати позицію підприємства або ж послаблювати її. Зміна факторів може мати як позитивний, так і негативний вплив на розвиток діяльності певного підприємства, проте його гнучкість і можливість швидко пристосовуватися до змін дає змогу отримати найкращі умови роботи при позитивних зрушеннях, а при негативних — уникнути зайвих витрат [16, с. 70].

Керівництво кожного підприємства дбає про ефективність діяльності та формування такої системи управління, яка б забезпечила втримання досягнутих позицій, швидку реакцію на зміни та сприяла б його подальшому розвитку. Однією з важливих умов підвищення ефективності функціонування підприємства є вдосконалення системи управління з урахуванням факторів забезпечення економічної безпеки.

Проблематиці економічної безпеки приділено значної уваги в працях багатьох вчених, проте не існує ні єдиного визначення поняття, ні методичних підходів до її оцінки.

Наведемо сучасне бачення науковців стосовно терміна економічна безпека підприємства (табл. 1).

Таблиця 1. Визначення поняття «економічна безпека підприємства»

| Автор | Визначення |
|------------------------------|---|
| О. А. Грунін [4] | Стан господарчого суб'єкта, при якому він при найбільш ефективному використанні корпоративних ресурсів досягає запобігання, послаблення або захисту від існуючих небезпек та загроз або інших непередбачених обставин і в основному забезпечує досягнення цілей бізнесу в умовах конкуренції та господарчого ризику. |
| В. Л. Ортинський [8] | Захищеність потенціалу підприємства (виробничого, організаційно-технічного, фінансово-економічного, соціального) від негативної дії зовнішніх і внутрішніх чинників, прямих або непрямих економічних загроз, а також здатність суб'єкта до відтворення. |
| М. В. Фоміна [15, с. 11] | Стан найбільш ефективного використання ресурсів з метою ліквідації загроз, забезпечення ефективного і стабільного функціонування підприємства в поточному та перспективному періодах. |
| І. А. Білоусова [2, с.17] | Економічна безпека підприємства передбачає стійкий, тобто збалансований безупинний та сталий розвиток, що досягається за допомогою використання всіх видів ресурсів і підприємницьких можливостей для стабільного функціонування та динамічного науково-технічного і соціального розвитку, запобігання внутрішнім і зовнішнім негативним впливам (загрозам), забезпечення стабільного функціонування підприємства сьогодні і в майбутньому. |
| В. А. Забродський [5, с. 35] | Кількісна і якісна характеристика властивостей фірми, що відбиває здатність «самовиживання» і розвитку в умовах виникнення зовнішньої і внутрішньої економічної загрози. Економічна безпека фірми визначається сукупністю факторів, що відбивають незалежність, стійкість, можливості зростання, забезпечення економічних інтересів тощо. |
| І. М. Сосновська [13] | Комплексна характеристика, під якою розуміють рівень захищеності всіх видів потенціалу підприємства від внутрішніх та зовнішніх загроз, що забезпечує стабільне функціонування та ефективний розвиток і потребує управління з боку керівництва підприємства. |

Отже, можемо зробити висновок, що визначення економічної безпеки в сучасній науці має різне тлумачення:

- захист від негативних впливів (загроз) зовнішнього і внутрішнього середовища [8; 13];
- стан ефективного використання ресурсів [4; 15];
- стійкий, безупинний і сталий розвиток [2; 5].

На нашу думку, під економічною безпекою підприємства слід розуміти його здатність досягати своєї мети в умовах змін ринкового середовища, протистояти негативним факторам впливу та забезпечувати стабільне функціонування й розвиток.

Під системою економічної безпеки підприємства розуміють структурований комплекс стратегічних, тактичних та оперативних заходів, спрямованих на захищеність підприємства від зовнішніх і внутрішніх загроз та на формування унікальних здатностей протистояти їм у майбутньому, які забезпечують конкурентостійкість та економічну стабільність суб'єкта господарювання, а також сприяють підвищенню рівня добробуту працівників [17].

Досягнення зазначеної мети можливе за рахунок ефективного використання всіх складових елементів системи економічної безпеки підприємства [3; 8; 17]:

- забезпечення конкурентоспроможності підприємства, результативності діяльності, фінансової стійкості, високої продуктивності;
- формування ефективної організаційної структури управління економічною безпекою, створення власної служби економічної безпеки підприємства відповідно до виявлених ризиків та загроз;
- розвиток і реалізація інтелектуального потенціалу суб'єкта господарської діяльності;
- забезпечення технологічної незалежності та лідерства в технологіях, належної ефективності корпоративних інновацій, НДДКР;
- запобігання забрудненню довкілля внаслідок діяльності підприємства, використання екологічно чистих технологій;
- захист конфіденційної інформації та комерційної таємниці, досягнення необхідного рівня інформаційного забезпечення роботи підприємства;
- гарантування безпеки персоналу, матеріальних цінностей і капіталу;
- захист законних прав і комерційних інтересів підприємства та його співробітників;
- забезпечення безпеки господарсько-договірної діяльності;
- формування безпеки логістичної діяльності;
- організація безпеки рекламних, культурних, масових заходів, ділових зустрічей та переговорів;
- забезпечення протипожежної й технічної безпеки;
- захист від конкурентної розвідки.

Доречно наголосити, що не існує єдиного підходу до визначення кількості елементів системи економічної безпеки підприємств, адже кожен науковець пропонує власне бачення. Крім представлених елементів, на авторську думку, необхідно включити до неї ризик-менеджмент як важливу складову захисту підприємств від впливу негативних чинників зовнішнього середовища та підґрунтя антикризових заходів.

Система економічної безпеки абсолютно індивідуальна для кожного підприємства, вона вибудовується з урахуванням специфіки діяльності, галузевих особливостей ведення бізнесу, рівня інтенсивності конкуренції, стадії життєвого циклу підприємства.

Необхідно зауважити, що економічну безпеку розглядають на різних рівнях: мікрорівень (локальна економічна безпека), мезорівень (регіональна економічна безпека), макрорівень (національна економічна безпека та міжнародна економічна безпека) та мегарівень (глобальна економічна безпека) [18].

Враховуючи багатокомпонентність і багаторівневість системи забезпечення економічної безпеки, пропонується розглянути її на мікрорівні (рівень підприємства). Вважаємо доцільним приділити увагу саме безпеці виробничо-господарської діяльності з урахуванням ризик-менеджменту (управління ризиками) як основної складової економічної безпеки суб'єкта господарювання, залишаючи поза увагою інші невід'ємні частини, пов'язані із забезпеченням захисту конфіденційної інформації та комерційної таємниці; безпекою матеріальних цінностей підприємства; захистом законних прав та інтересів підприємства і його співробітників; економічною розвідкою тощо.

На нашу думку, доцільно виділити та розглянути основні чинники безпеки виробничо-господарської діяльності підприємств:

- фінансовий чинник полягає у раціональному (ефективному) використанні власних коштів, перерозподілі прибутку на реалізацію інноваційних бізнес-проектів, а також можливості залучення позикових коштів для розвитку;

- ресурсний чинник пояснюється можливістю отримання матеріальних ресурсів у необхідному обсязі та прийнятної якості, наявністю сучасного обладнання й техніки для здійснення операційної діяльності, ступенем їх зносу;

- інтелектуально-кадровий чинник передбачає наявність певного комплексу знань, вмінь, навиків, здібностей, досвіду персоналу для реалізації поставлених цілей в умовах постійних змін і спроможність працівників генерувати ідеї й пропонувати можливі рішення існуючих проблем на підприємстві в усіх напрямках діяльності;

- управлінський чинник забезпечує здатність керівників різних рівнів підприємства організувати ефективну роботу підрозділів (виконавців) і досягати запланованих показників діяльності у встановлені строки;

- інноваційний чинник свідчить про наявність нових ідей, ефективних корпоративних проектів для імплементації, високий рівень НДДКР, що сприятиме посиленню ринкових позицій підприємства;

- маркетинговий чинник полягає у поєднанні товарної політики, стратегії ціноутворення, способів стимулювання та руху продукції, що забезпечить отримання стабільного прибутку від здійснення діяльності;

- репутаційний чинник свідчить про позитивний імідж підприємства, лояльність споживачів до продукції, довіру до виробника;

- комерційний чинник пояснює необхідність і забезпеченість підприємства у отриманні прибутку як засобу розширеного відтворення для подальшого функціонування, розвитку і зростання;

- правовий чинник свідчить про захист підприємства з боку держави (державних органів) та дотримання чинного законодавства, що регулює діяльність суб'єктів господарювання на ринку;

- виробничо-технологічний чинник полягає в отриманні максимально можливого виробничого результату за умови найбільш ефективного використання всіх видів ресурсів, а також передових технологій, і форм організації виробництва;

- інформаційний чинник забезпечує своєчасне отримання, збір та обробку інформації, її розповсюдження для підготовки і прийняття управлінських рішень;

- ринковий чинник сприяє швидкій реакції на ринкові зміни, на прорахунки у маркетинговій діяльності підприємства, здатності протидіяти конкурентному тиску;

- екологічний чинник забезпечує виконання екологічних норм при здійсненні виробничої діяльності, мінімізацію забруднення навколишнього середовища, поширенню проектів у цій сфері;

- соціальний чинник полягає, з одного боку, у піклуванні підприємства про наявних працівників (їх матеріальне забезпечення, покращення якості життя та умов праці), які є ключовим ресурсом його розвитку та створюють можливість для його подальшого зростання, а з іншого — реалізації необхідних соціальних програм (проектів) для населення (корпоративна соціальна відповідальність бізнесу), що сприяє підвищенню лояльності, довіри до підприємства.

Оскільки більшість господарських рішень приймається в умовах невизначеності та ризику, що зумовлюється недостатньою інформацією про стан ринку, ступінь конкуренції на ньому, неможливістю передбачення змін у зовнішньому середовищі, нераціональному використанні внутрішніх ресурсів підприємства, вважаємо за необхідне приділяти увагу саме формуванню ефективної системи ризик-менеджменту як складової економічної безпеки підприємства. Невизначеність, потреба у передбаченні та прогнозуванні настання ризикових ситуацій, викликає необхідність ідентифікації та проведення оцінки міри ризиків, імовірності їх настання, передбачення їх впливу на діяльність суб'єктів господарювання частково [14, с. 222].

Ризик-менеджмент найчастіше розглядають з двох позицій: як систему та як процес.

Система ризик-менеджменту є сукупністю взаємопов'язаних принципів і організаційно-економічних засобів та елементів ресурсного забезпечення, спрямованих на виявлення, аналіз і регулювання ступеня ризиків [19].

Ризик-менеджмент — це безперервний процес впливу на об'єкт господарювання, при якому забезпечується охоплення максимально широкого діапазону можливих ризиків і використання всіх методів впливу на них в процесі прийняття управлінських рішень та зведення ступеня впливу виявлених ризиків до мінімальних чи допустимих меж. Результатом цих дій є розробка стратегії поведінки об'єкта управління у разі настання конкретних подій, які викликають дію різних видів ризику [20].

З нашої точки зору, необхідно приділяти увагу не тільки пошуку можливих шляхів зменшення ризику, а й запобігання ризикам, тобто розробці запобіжних заходів щодо уникнення майбутніх ризиків, оперативного реагування на різні види загроз для забезпечення економічної безпеки підприємств та стабільного функціонування у довгостроковій перспективі.

Розглянемо можливі види ризиків відповідно до визначених чинників безпеки виробничо-господарської діяльності підприємств:

1. Ресурсні ризики — ризики забезпечення підприємства вчасно всіма необхідними сировинними ресурсами у потрібній кількості та відповідної якості. Саме ресурсні ризики визначають можливість настання виробничих ризиків, що

пов'язані із недозавантаженням виробничих потужностей, непродуктивному використанні обладнання, зупинки виробництва, порушенням ритмічності виробництва, недовиконання виробничої програми, підвищення відсотку браку, виготовленням продукції, що поступається конкурентам за якістю та асортиментом втратами робочого часу тощо.

2. Виробничо-технологічні ризики пов'язані з можливістю отримання збитків від поломки обладнання через високий рівень коефіцієнта його зносу, порушенням технологічних режимів виготовлення продукції, що може викликати зниження її якості та зростання собівартості й призвести до ризику неконкурентоспроможності готової продукції.

3. Ринкові ризики виникають унаслідок негативних змін у ринкових сегментах, коливання ринкових цін, які можуть призвести до недоотримання виручки від реалізації продукції та/або отримання збитків через зміну курсів валют.

4. Екологічні ризики визначаються природними змінами у зовнішньому середовищі, невиконанням екологічних норм при здійсненні виробничої діяльності, забрудненням навколишнього середовища тощо.

5. Правові ризики проявляються через несприятливу державну політику, введення адміністративних обмежень, що перешкоджають ефективній роботі підприємств.

6. Фінансові (інвестиційно-фінансові) ризики свідчать про складність отримання фінансових коштів для подальшого розвитку підприємств як від вітчизняних інвесторів, так і від іноземних або несприятливі умови отримання кредитів.

7. Інформаційний ризик — це ризик володіння неповною, неточною або необ'єктивною інформацією про ринок, зміни у зовнішньому середовищі, наміри потенційних конкурентів тощо, що не дає змогу здійснити аналіз та вжити адекватних заходів реагування.

8. Інтелектуально-кадрові ризики — пов'язані з браком висококваліфікованих працівників, недостатньою кваліфікацією наявного персоналу та недосконалою кадровою політикою підприємства, що призводить до низького рівня лояльності персоналу до компанії, нестабільністю штату, високого рівня плинності кадрів.

9. Управлінські ризики обґрунтовуються нераціональним характером прийнятих менеджерами різних ланок (особливо вищої ланки — президентами, віцепрезидентами компаній) рішень (розробка напрямків розвитку підприємства, вміння передбачити необхідні зміни та впроваджувати кращі практики ведення бізнесу з використанням сучасних методів діагностики стану підприємства та можливостей покращення його діяльності).

10. Інноваційні ризики — ризики, пов'язані з неможливістю впровадження більшості інноваційних технологій виробництва продукції, сучасного обладнання, що буде гальмувати розвиток підприємства та унеможливить ведення рівноцінної конкурентної боротьби за задоволення зростаючих потреб споживачів. Цей вид ризику полягає у ймовірності втрат, що виникають при вкладанні підприємством коштів у виробництво нової продукції, яка можливо не знайде очікуваного попиту на ринку.

11. Маркетингові ризики — це ризики неналагодження тісної співпраці із дистриб'юторами продукції або ризик неможливості розширення ринків збуту

через невідповідність продукції вимогам споживачів, невірно сформовані комунікаційні канали її просування тощо.

12. Комерційні ризики — ризики небажаних наслідків у комерційній діяльності підприємства (падіння попиту на продукцію, що призведе до зниження обсягів реалізації, зміни в потребах споживачів, браку ресурсів, що негативно вплине на обсяги виробництва продукції, проблеми з логістикою тощо).

13. Соціальні ризики пов'язані з неможливістю підприємства у повній мірі (гідно) виконувати свої зобов'язання перед працівниками (підвищення рівня заробітної плати, регулярне преміювання) та браком фінансових коштів для реалізації соціальних проектів для суспільства.

14. Репутаційні ризики є закономірним наслідком недовіри стейкхолдерів до компанії, що може бути викликано певними негативними моментами у провадженні господарської діяльності.

Отже, ризикові ситуації пов'язані між собою, настання однієї спричиняє інші, що може негативно позначитися на діяльності підприємства в цілому та призвести до зниження його потенціалу. Як уже зазначалося, ресурсний ризик збільшує виробничий ризик, у свою чергу, виробничий, маркетинговий та управлінський ризики впливають на можливість настання ризику у сфері збуту. Інноваційні та кадрові ризики гальмують процес розвитку підприємства та можуть спричинити репутаційні ризики.

Ідентифікація, аналіз, оцінка та врахування всіх названих ризиків як етапи ризик-менеджменту сприятимуть забезпеченню ризикостійкості підприємств, тобто здатності суб'єкта протистояти негативним факторам внутрішнього та зовнішнього середовища і забезпечувати стабільне функціонування та розвиток.

Висновки

Отже, проведене дослідження надає можливість зробити висновок, що концентрація уваги на ризик-менеджменті є підґрунтям забезпечення економічної безпеки підприємств, їх захищеності від негативних чинників зовнішнього середовища та здатності швидко реагувати на них з метою мінімізації їх впливу.

Перспективами подальших досліджень буде здійснення оцінки потенційних ризиків для певної групи підприємств відповідно до галузевої специфіки їхньої діяльності та формування конкретних заходів ризик-менеджменту з метою можливості ухилення від них, запобіганні їх появі або мінімізації впливу на економічну безпеку підприємств.

Література

1. Обґрунтування господарських рішень та оцінювання ризиків. Навч. посіб. / Л. І. Донець та ін. К.: Центр учбової літератури, 2012. 472 с.
2. Білоусова І. А. Управлінський облік — інформаційна складова системи економічної безпеки: монографія. К.: Дорадо-Друк, 2010. 432 с.
3. Васильців Т. Г. Економічна безпека підприємництва України: стратегія та механізми зміцнення: монографія. Львів: Арал, 2008. 384с.
4. Грунин О. А., Грунин С. О. Экономическая безопасность организации: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2002. 160 с.
5. Забродский В. А., Капустин Н. Т. Теоретические основы оценки экономической безопасности отрасли и фирмы. *Бизнес-информ.* 1999. № 15—16. С. 35—37.
6. Живко З. Б. Забезпечення моніторингу системи економічної безпеки підприємства. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки.* 2014. Вип. 7 (2). С. 194—197.

7. Іванюта Т. М. Методичні підходи до аналізу економічної безпеки підприємства. *Вісник Одеського нац. ун-ту. Сер.: Економіка*. 2013. Вип. 1/1. Т. 18. С. 137—141.
8. Економічна безпека підприємств: підручник / Ортинський В. Л. та ін. К.: Алерта, 2011. 704 с.
9. Кулакова С. Ю., Касмініна К. О. Ризикостійкість підприємства як передумова його розвитку: сутність та індикатори визначення. *Агросвіт*. 2017. № 12. С. 42—47.
10. Карпунцов М. В. Управління ризикостійкістю підприємства. *Економіка та держава*. 2008. № 9. С. 72—74.
11. Мостенська Т. Л., Скопенко Н. С. Ризик-менеджмент як інструмент управління господарським ризиком підприємства. *Вісник Запорізького національного університету*. Економічні науки. № 3 (7). 2010. С. 72—79.
12. Теоретико-методичні основи аналізу та оцінки господарського ризику підприємств харчової промисловості: монографія / керівник авт. кол. проф. Скопенко Н.С. К.: Кондор-Видавництво, 2015. 478 с.
13. Сосновська І. М. Поняття та значення економічної безпеки виробничо-господарської діяльності підприємств. *Ефективна економіка*. 2015. № 9.
14. Управління ризиками на підприємствах харчової промисловості: монографія / керівник авт. кол. проф. І. В. Федулова. К.: 2016. 351с.
15. Фоміна М. В. Проблеми економічно безпечного розвитку підприємств: теорія і практика: монографія. Донецьк: ДонДУЕТ, 2005. 140 с.
16. Мостенська Т. Л., Драган О. І., Суха І. В. Системне забезпечення конкурентоспроможності підприємств м'ясної і молочної промисловості України: монографія. Національний ун-т харчових технологій. Київ, 2010. 268 с.
17. Іванюта Т. М., Заїчковський А. О. Економічна безпека підприємства: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Центр учбової літератури. 2017. 256 с.
18. Сосновська О. О., Житар М. О. Економічна безпека підприємства: сутність та ознаки забезпечення. *Облік і фінанси*. 2018. № 3. С. 124—132.
19. Скопенко Н. С. Особливості формування комплексної системи ризик-менеджменту. *Теоретичні та прикладні питання економіки*. 2016. Випуск 1 (32). С. 33—43.
20. Скопенко Н. С., Андреюк Н. В. Організація ризик-менеджменту на підприємстві. *Теоретичні та прикладні питання економіки*. 2015. Випуск 2 (31). С. 29—41.

SYSTEM APPROACH IN ENERGY MANAGEMENT AS AN ANALYTICAL TOOL FOR EVALUATING ENERGY- INTENSIVE PROCESSES IN THE FOOD INDUSTRY OF UKRAINE

Y. Onyshchenko

National University of Food Technologies

A. Zamulko

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Key words:

*System approach
Energy consumption
Technological process
Food industry*

Article history:

Received. 31.03.2020

Received in revised form
14.04.2020

Accepted 28.04.2020

Corresponding author:

Y. Onyshchenko

E-mail:

yaroslav_onyshchenko
@ukr.net

ABSTRACT

The article considers the current state of the technological processes used in the food industry of Ukraine. We consider the joint use of system analysis and energy management as analytical tools that will allow to systematize the detection of objects in relation to which management decisions should be made that will improve the performance and improve the quality of the corresponding equipment in the food industry.

The analysis of features of functioning of the General technological processes and the equipment which is used at the enterprises of the food industry of Ukraine is carried out. The joint use of system analysis with energy management is proposed to identify objects that need effective management solutions. The possibility of using the estimation of consumption of fuel and energy resources at the enterprises of the food industry of Ukraine is proved.

To achieve the maximum effect from the implementation of energy-saving measures, at the stage of analysis of technological processes, flows and equipment, food industry enterprises should use system analysis in combination with management. The maximum effect can be achieved by analyzing both the enterprise as a whole and individual technological processes related to each other. The use of management will allow to minimize costs per unit, respectively, will lead to a reduction in financial costs for electricity for the enterprise. At the same time, the use of system analysis approaches in combination with management will allow to get the best possible result in solving energy problems, i.e. to improve the quality and productivity of the enterprise, to identify opportunities for economic work, which will improve the quality and productivity of both individual equipment and the food industry as a whole.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ ЯК АНАЛІТИЧНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

Я. Д. Онищенко

Національний університет харчових технологій

А. І. Замулко

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті розглянуто сучасне функціонування технологічних процесів на підприємствах харчової промисловості України. Запропоновано сумісне використання системного аналізу й енергетичного менеджменту як аналітичних засобів, що дають змогу систематизувати виявлення об'єктів, стосовно яких слід виконати управлінські рішення, що покращать показники функціонування та підвищать якість роботи відповідного обладнання на підприємствах харчової промисловості.

Здійснено аналіз особливостей функціонування загальних технологічних процесів та обладнання, яке використовується на підприємствах харчової промисловості України. Запропоновано сумісне використання системного аналізу з енергетичним менеджментом для виявлення об'єктів, які потребують ефективних управлінських рішень. Доведено можливість використання оцінки споживання паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах харчової промисловості України.

Для досягання максимального ефекту від впровадження енергозберігаючих заходів на етапі аналізу технологічних процесів, потоків та обладнання підприємств харчової промисловості слід використовувати системний аналіз у поєднанні з менеджментом. Досягнути максимального ефекту можна за допомогою аналізу як підприємства в цілому, так і окремих технологічних процесів, пов'язаних між собою. Використання менеджменту дасть змогу мінімізувати питомі витрати на одиницю продукції, що, відповідно, призведе до зменшення фінансових витрат за електричну енергію для підприємства. При цьому використання системних підходів аналізу в поєднанні з менеджментом забезпечить максимально можливий результат у вирішенні енергетичних проблем, тобто підвищить якість і продуктивність роботи як окремого обладнання, так і підприємства харчової промисловості в цілому.

Ключові слова: системний підхід, енергоспоживання, технологічний процес, харчова промисловість.

Постановка проблеми. Зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів, їх вплив на собівартість кінцевої продукції спонукає керівництво підприємств

харчової промисловості зменшувати споживання. Однак через відсутність загальних правил, стратегій, системних підходів, які б дали змогу досягнути зниження споживання енергетичних ресурсів, ухвалюються малоефективні, а в деяких випадках неефективні управлінські рішення, які призводять тільки до додаткових витрат. Відповідно, виникає гостра потреба у розвитку системних підходів до проведення оцінки енерговитратних процесів на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток систем аналізу енергозатратних процесів харчової промисловості України, енергоефективне виробництво продуктів харчування, розробку механізмів для підвищення ефективності роботи обладнання галузі вивчали такі вчені: В. П. Чеботарьов, С. П. Денисюк, В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, Л. Г. Бойко, В. А. Маляренко, Л. В. Лисак.

Мета статті: теоретичне обґрунтування можливості використання системного підходу до ефективного управління енергетичним потенціалом підприємства харчової промисловості на сучасному етапі його розвитку для підвищення енергетичної ефективності та прибутковості підприємств.

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

Викладення основних результатів досліджень. В останні роки змінилася модель економічного зростання країни: від нарощування виробництва за рахунок підвищення завантаження виробничих потужностей, побудованих ще в радянські роки, до зростання за рахунок масштабного будівництва нових потужностей. Економіка має ряд особливостей, які обумовлюють своєрідність розвитку національного енергетичного комплексу.

Останнім часом спеціалісти роблять акцент на інноваційному розвитку економіки. Перед науковим співтовариством ставиться завдання розробки інноваційної продукції й технологій, що відповідають світовим стандартам. Відповідні розробки більшою мірою ведуться за пріоритетними напрямками розвитку науки, технологій і техніки.

Перелік пріоритетних напрямів, за якими ведуться передові розробки, охоплює далеко не всі галузі промисловості, що забезпечують економічну безпеку країни. Однією з таких галузей є харчова промисловість, від розвитку якої залежить продовольча незалежність і безпека країни.

Однією з проблем підприємств харчової промисловості є те, що виручені кошти майже не інвестуються в технологічне переозброєння та впровадження менш енергоємних виробництв.

Завданням харчової промисловості є переробка багатокомпонентної сировини з метою виділення якогось одного харчового компонента. При цьому основний продукт становить лише малу частину вихідної сировини, зазвичай 15—20%. Решта перетворюється у відходи виробництва. Але такі відходи містять велику кількість корисних речовин і доступні до подальшої додаткової переробки. З огляду на це необхідно підвищити ступінь і глибину переробки сировини, забезпечити якомога повніше використання всіх її компонентів та утилізацію

відходів. Результатом стане не тільки поліпшення екологічної ситуації завдяки зменшенню кількості відходів, а й підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) галузі в цілому.

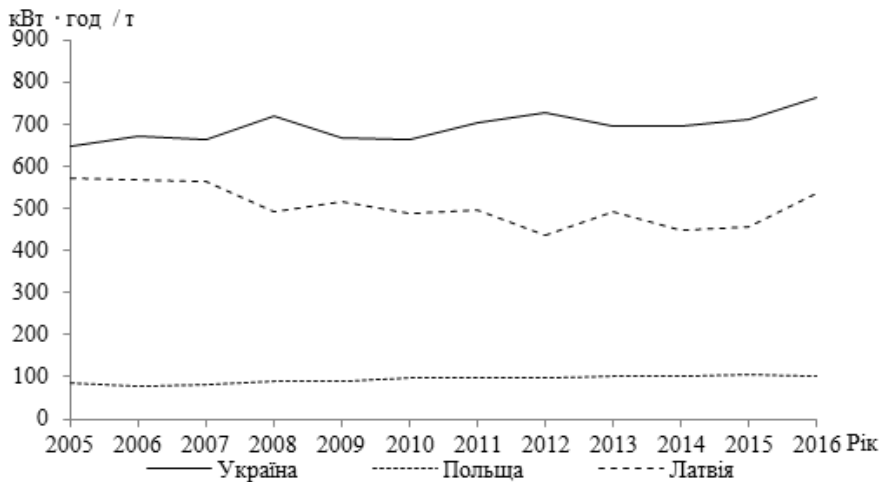


Рис. 1. Питомі витрати енергії на виробництво однієї тонни продуктів харчування, тютюнових виробів і води, побудовано за даними Державної служби статистики України, Statistics Explained — Europa

Порівнявши показники питомих витрат електричної енергії на тонну продукції харчової промисловості України з аналогічними показниками таких країн, як Польща та Латвія (рис. 1), слід зазначити, що харчова промисловість України поступається країнам Європи, де технології виробництва продуктів харчування розвинуті краще. Не можна не сказати про те, що кінцева вартість продуктів харчування значною мірою впливає на показник ВВП країни, який у 2016 р. склав 93,3 млрд дол. для України та 471,4 млрд дол. — для Польщі відповідно. Важливо зауважити, що українським підприємствам харчової промисловості потрібно знаходити можливі варіанти для зменшення питомих витрат на одиницю виробленої продукції, покращуючи таким чином економічне становище країни в цілому.

Загальна орієнтація підприємств харчової промисловості на формування конкурентної цінової політики при існуючому зношеному обладнанні, яке становить більшу частину основних засобів підприємства, неодмінно вимагає формування довгострокових стратегій розвитку виробництва з урахуванням потенціалу з енергозбереження.

Оцінка ефективного використання ресурсів є важливим етапом формування довгострокових стратегій розвитку виробництва на основі системного підходу ефективного управління виробництвом. Така оцінка формується з певної кількості критеріїв, які дають змогу визначити найбільш ефективний напрям управління енергетичними ресурсами підприємства, побачити реальну енергоємність процесів, як працює підприємство в цілому, як запропоновані зміни впливають

на виробництво, чи досягається запланований результат. Для оцінювання ефективності необхідна система показників, яка враховувала б фактичну динаміку використання ресурсів підприємства на всіх етапах технологічного процесу.

Системний підхід орієнтує на пошук об'єднуючих, інтегруючих властивостей цілого, на облік взаємозалежності його частин і надає можливість звести різні завдання пізнання частин до єдиної комплексної проблеми, намітити генеральну лінію її розв'язання і вирішити завдання пізнання та принципової зміни цілого. Сучасна наука і практика інтерпретують навколишню нашу дійсність не як окремі, ізольовані один від одного об'єкти і процеси, а як певні системні освіти.

Вивчення об'єкта з позиції системного підходу включає такі *аспекти*:

- системно-елементний (виявлення елементів, що утворюють систему);
- системно-структурний (вивчення внутрішніх зв'язків між елементами системи);
- системно-функціональний (виявлення функцій системи);
- системно-цільовий (виявлення цілей і підцілей системи);
- системно-ресурсний (аналіз ресурсів, необхідних для функціонування системи);
- системно-інтеграційний (визначення сукупності якісних властивостей системи, що забезпечують її цілісність);
- системно-комунікаційний (аналіз зовнішніх зв'язків системи із зовнішнім середовищем та іншими системами);
- системно-історичний (вивчення виникнення системи, етапів її розвитку і перспектив).

Отже, системний підхід — це методологічний напрямок у науці, основне завдання якого полягає в розробці методів дослідження і конструювання складноорганізованих об'єктів — систем різних типів і класів [1].

Системний аналіз технологічного потоку поглиблює, спеціалізує і систематизує наші знання, але разом з тим готує умови для здійснення системного синтезу диференційованих знань. Таке комплексування диференційованого знання сьогодні є одним із необхідних і плідних напрямків подальшого розвитку харчових технологій.

Системний аналіз використовується як один із найважливіших методів у системному підході, як ефективний засіб вирішення складних, недостатньо чітко сформульованих проблем. Системний аналіз можна вважати подальшим розвитком ідей кібернетики: він досліджує загальні закономірності, що відносяться до складних систем, які вивчаються наукою.

Системотехніка — прикладна наука, що досліджує завдання реального створення складних керуючих систем.

Процес побудови системи складається із шести етапів:

- системний аналіз;
- системне програмування, яке включає визначення поточних цілей: складання графіків і планів роботи;
- системне проектування — реальне проектування системи, її підсистем і компонентів для досягнення оптимальної ефективності;

- створення програм математичного забезпечення;
- введення системи в дію та її перевірка;
- обслуговування системи.

Підприємство харчової промисловості можна розглядати як певну систему — сукупність взаємозв'язаних елементів (обладнання, технологічних процесів), відокремлену від зовнішнього середовища, але яка діє з цим середовищем як єдине ціле [2].

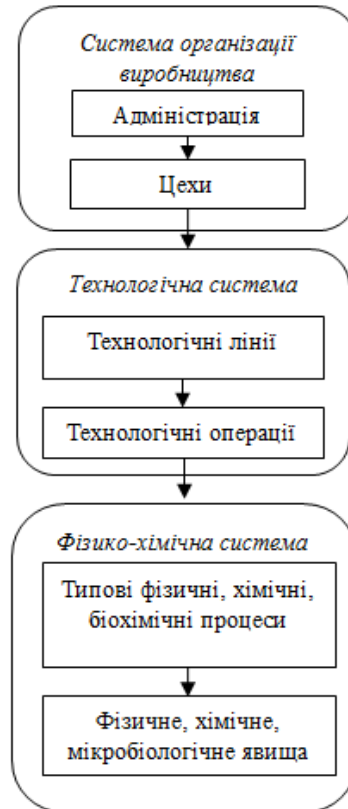


Рис. 2. Структурна схема організації виробництва підприємств харчової промисловості

Сучасне харчове підприємство як система великого масштабу складається із взаємопов'язаних підсистем, між якими існують відносини підпорядкованості з трьома основними ступенями якості систем (рис. 2). При цьому вищий ступінь ієрархічної структури харчового підприємства — це система оперативного управління роботою всіх цехів, планування запасів сировини і реалізації готової продукції. Основу середнього ступеня складають технологічні процеси в потокових лініях як сукупність специфічних технологічних операцій, а нижчий ступінь утворюють типові процеси харчової технології в певному машинно-апаратному оформленні.

Постановка чітких цілей, спрямованих на отримання кількісних і якісних результатів, має найважливіше значення для розробки ефективної стратегії вдосконалення виробництва і вилучення фінансової вигоди.

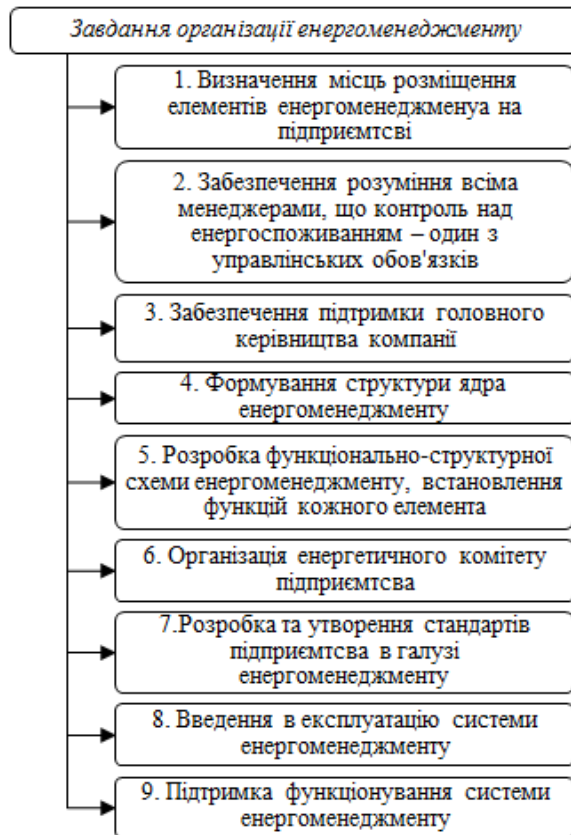


Рис. 3. Структурна схема організації енергоменеджменту, [3]

Робоча група з енергоефективності на чолі з керівником системи енергетичного менеджменту несе відповідальність за розробку і досягнення поставлених цілей.

У різних системних дослідженнях виробничих процесів на підприємствах харчової промисловості можна не виділяти окремі елементи, а підкреслювати лише загальносистемні ознаки:

$$S = (Z, STR, TECH, COND), \tag{1}$$

де $STR = \{STR_{TECH}, STR_{OPF} \dots\}$ — сукупність структур, які реалізують цілі (технічна, організаційна тощо.); $TECH = \{meth, means, alg \dots\}$ — сукупність технологій (методи, засоби, алгоритми), які реалізують систему; $COND = \{\varphi_{ex}, \varphi_{in}\}$ — умови існування системи, тобто фактори, які впливають на її створення та функціонування (зовнішні, внутрішні).

Значної уваги потребує системний аналіз технологічних комплексів, елементами яких є технологічні процеси та апарати, а підсистемами — їх об'єднання на рівні відділень чи цехів. Наприклад, для цукрового виробництва —

відділення бурякопереробне, очищення соку, випарювання тощо, для хлібопекарського — приготування тіста, випічки тощо. В системному аналізі самостійну задачу, таку як виділення оптимальної кількості підсистем, часто розв'язують, виходячи з того, що зі збільшенням кількості підсистем спрощується керування ними, але значно ускладнюється координація (узгодження) їхнього функціонування [4].

Структура відображає найістотніші взаємозв'язки між елементами, компонентами й підсистемами, які мало змінюються в процесі функціонування системи і забезпечують існування системи та її властивості. Структура системи може подаватися графічно, у вигляді теоретико-множинних уявлень, матриць, графів і спеціальних комп'ютерних мов. Для складних систем керування виокремлюють функціональну, технічну, алгоритмічну, організаційну структури.

Між рівнями ієрархічної структури можуть існувати взаємозв'язки строгої підпорядкованості компонентів (вузлів) нижчих рівнів одного з компонентів вищого рівня, які називають деревоподібними структурами. В ієрархічній структурі, на відміну від слабких зв'язків, можуть бути також інші, складніші, які в системному аналізі називають «стратами», «шарами», «ешелонами».

Зв'язок забезпечує виникнення і збереження структури та цілісних властивостей системи, може характеризувати як будову (статику), так і функціонування (динаміку) системи.

Зв'язок характеризується напрямками, силою і характером дії, що надає можливість виокремити направлені та ненаправлені, сильні й слабкі, рівноправні зв'язки керування. У складних системах зв'язок можна оцінювати за місцем прикладення (внутрішні та зовнішні) і напрямком (прямі й зворотні).

Найважливішим у системах управління є поняття «зворотний зв'язок», що характерно для технічних систем, але менш чітко проявляється в організаційних системах. Зворотний зв'язок є основою саморегулювання системи, її розвитку, пристосування до змінюваного зовнішнього середовища.

Технологічний потік являє собою сукупність технологічних операцій [4]. Він володіє новою, системною якістю, якої не має жоден з утворюючих його елементів, що його утворюють. Системна якість полягає в набагато більш ефективному функціонуванні комплексу машин і апаратів, ніж робота необ'єднаних в лінію знарядь праці. Ефективність технологічних перетворень досягається в результаті досконалого виконання окремих операцій, що призводить до невідомої до цього стабільності виробництва [4].

Для виявлення критеріїв показників якості роботи системи організації енергетичного менеджменту можна використати таку методику: кожна i -а якість j -ї системи $i = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, m}$ описується за допомогою вихідної змінної y_i^j , що відображає певну істотну властивість системи.

Значення y_i^j характеризує міру цієї якості або приватний показник якості. Показник y_i^j може набувати значення з безлічі допустимих значень $\langle y_i^{don} \rangle$.

Узагальненим показником якості j -ї системи організації виробництва на підприємстві харчової промисловості буде вектор $Y^j = \langle y_1^j, y_2^j, \dots, y_n^j \rangle$, компонентами якого є показники його окремих властивостей.

Приватні показники мають різну розмірність, тому при визначенні Y^i слід оперувати нормованими значеннями.

Завдання нормування визначається за формулою:

$$y_i^j = \frac{y_i}{y_i^0}, \quad (2)$$

де y_i^j — нормувальна величина.

Можливі кілька підходів до вибору, що унормує величини:

– y_i^0 = задається ОНР;

– $y_i^0 = \max y_i^j$;

– $y_i^0 = \max y_i^j - \min y_i^j$.

Необхідна якість системи задається правилами, які повинні задовольняти показники істотних властивостей, а перевірка їх виконання називається оцінюванням якості системи.

Критерій якості — це показник істотних властивостей системи і правило його оцінювання.

Нехай $Y^* = \langle y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^* \rangle$ — вектор ідеальної системи. Тоді область адекватності показника якості визначається за формулою:

$$\delta \subseteq |Y^{don} / Y^*| / |Y^*|, \quad (3)$$

де δ — радіус області адекватності.

Основною метою залишається зменшення енергоспоживання обладнання безпосередньо на технологічних процесах. Оскільки споживання електричної енергії може збільшуватись, що пов'язано з використанням додаткового електрообладнання на території підприємства.

Для досягнення результатів заощадження енергії необхідно реалізувати автоматизовану систему обліку та контролю енергоресурсів. Після чого, за отриманими даними за допомогою аналітичних методів, з'являється можливість виявити технологічні процеси або безпосередньо технологічне обладнання, стосовно якого слід приймати управлінські рішення, що призведуть до ефективного його функціонування. Це дасть змогу вдало використати системний менеджмент для прийняття ефективних управлінських рішень.

Висновки

Аналіз ситуації на підприємствах харчової промисловості України стосовно використання паливно-енергетичних ресурсів свідчить про малоефективні або неефективні управлінські рішення на підприємствах харчової промисловості України.

Аналіз структурної схеми організації виробництва на підприємствах харчової промисловості (рис. 2) та структурної схеми організації енергетичного менеджменту відповідно до міжнародного стандарту ISO 50001 (рис. 3) довів наявність точок перетину систем та їх схожість, що підтверджує можливість

використання методів для оптимізації витрат паливно-енергетичних ресурсів, описаних в ISO 50001.

Доведена можливість використання оцінки споживання паливно-енергетичних ресурсів на підприємствах харчової промисловості України, а представлені узагальнені характеристики дають змогу створити математичну модель об'єкта, який виробляє продукти харчування.

Література

1. Теорія організації. URL: https://studme.com.ua/1924070111174/ekonomika/sistemnyy_pohod_ego_razvitiye.htm.
2. Ладанюк А. П. Основи системного аналізу. Навчальний посібник. Вінниця: Нова книга, 2004. 176 с.
3. Міжнародний стандарт ISO 50001 Системи енергоменеджменту.
4. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О., Луцька Н. М. Координація функціонування технологічних дільниць цукрового заводу з урахуванням задач прогнозування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2006. № 6. С. 112—115.
5. Шулле Ю. А. АСКОЕ як інструмент ефективного енергоменеджменту на підприємствах АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Технічні науки. Випуск 165. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». Харків: ХНТУСГ, 2015. С. 25—27.
6. Гаприндашвілі Б. В. Енергозбереження як чинник підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств. *БізнесІнформ*. 2014. № 8. С. 213—217.
7. Бенчмаркінг — калькулятор. URL: <http://www.reee.org.ua/energy-efficiency/eefcalc/>.

RECTIFICATION COLUMN MODELING WITH A CYCLE OPERATION MODE IN THE PRODUCTION OF ETHANOL

O. Shevchenko, O. Bedrick

National University of Food Technologies

V. Maleta

Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia

Key words:

*Cyclic rectification
Rectification column
Mathematical modeling
Phlegmatic number
Bioethanol
Food ethanol
Theoretical plates*

Article history:

Received 30.03.2020

Received in revised form
13.04.2020

Accepted 27.04.2020

Corresponding author:

O. Shevchenko

E-mail:

tmipt@ukr.net

ABSTRACT

In the ethanol purification scheme, the distillation column concentrates the ethyl alcohol, eliminates the intermediate, terminal impurities and the residue of the major ones. The concentration of ethanol rises to values close to the azeotropic point. When producing ethanol, up to 40% of the steam consumption is spent for the work of the column. Considering the peculiarities of the operation of columns such as the ejection column and the impurity concentration column, it should be noted that the use of a distillation column in a cyclic mode will also provide a proper economic effect. Column modeling was performed for products such as bioethanol and food alcohol. The simulation results are presented in the form of tables and graphs, where in tables N determines the number of theoretical cyclical distillation plates, and the fraction shows the ratio of the plates: exhaustive in the denominator and the concentration in the numerator.

The constant of the minimum reflux number for all variants of calculations on receipt of food quality alcohol is related to the shape of the ethanol-water equilibrium curve. With the increase of the reflux number, the ratio of the number of plates in the exhaustive and concentration parts of the column is redistributed. A significant difference between stationary and cyclic processes is the quantitative metrics such as the number of theoretical plates and reflux numbers.

Modeling of the distillation column upon receipt of food alcohol of 96.4% vol. showed that the greatest influence of the change in the concentration of the epirate is observed in the distal part of the column. With a decrease in the concentration of the epirate from 50 to 10% vol. the number of plates in the top of the column is tripled.

МОДЕЛЮВАННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ З ЦИКЛІЧНИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕТАНОЛУ

О. Ю. Шевченко, О. В. Бедрик

Національний університет харчових технологій

В. М. Малета

Maleta Cyclic Distillation LLC OÜ, Parnu mnt 130-38, 11317 Tallinn, Estonia

У технологічній схемі очистки етанолу ректифікаційна колона концентрує етиловий спирт, вилучає проміжні, кінцеві домішки та залишок головних. При цьому концентрація етанолу піднімається до значень, близьких до азеотропної точки. При виробництві етанолу на роботу колони затрачається до 40% витрати пари. Враховуючи особливості роботи таких колон, як епюраційна та колона концентрації домішок, слід зазначити, що використання ректифікаційної колони у циклічному режимі також забезпечить належний економічний ефект. Моделювання колони проводилося для таких продуктів, як біоетанол і харчовий спирт. Результати моделювання представлені у вигляді таблиць і графіків, де в таблицях N визначає кількість теоретичних тарілок циклічної дистиляції, причому дріб показує співвідношення вичерпної в знаменнику та концентраційної в чисельнику тарілок.

Незмінність мінімального флегмового числа для всіх варіантів розрахунків при отриманні спирту харчової якості пов'язана з формою кривої рівноваги етанол-вода. Зі збільшенням флегмового числа відбувається перерозподіл співвідношення кількості тарілок у вичерпній і концентраційній частинах колони. Суттєвою відмінністю стаціонарного та циклічного процесів є кількісні показники розрахунку, такі як кількість теоретичних тарілок і флегмові числа.

Моделювання ректифікаційної колони при отриманні харчового спирту 96,4% об. показало, що найбільший вплив зміни концентрації епюрата спостерігається у відгінній частині колони. Із зменшенням концентрації епюрата з 50 до 10% об. кількість тарілок у відгінній частині колони збільшується втричі.

Ключові слова: *циклічна ректифікація, ректифікаційна колона, математичне моделювання, флегмове число, біоетанол, харчовий етанол, теоретичні тарілки.*

Постановка проблеми. В технологічній схемі БРУ при виробництві етанолу на роботу ректифікаційної колони затрачається до 40% витрати пари. Зважаючи на особливості роботи епюраційної колони та колони концентрації домішок у циклічному режимі [3; 4], існують передумови, що використання РК в цьому режимі також забезпечить належний економічний ефект. Враховуючи той факт, що на сьогодні основними продуктами є харчовий та паливний етанол, має сенс моделювання ректифікаційної колони при виробництві цих продуктів. Головними показниками роботи РК є величина флегмового числа та кількість тарілок [5]. Тож важливо визначити оптимальне флегмове число, яке б забезпечило задані показники процесу при мінімальних експлуатаційних і капітальних витратах.

Мета дослідження: визначення оптимального флегмового числа та оптимальної кількості тарілок при моделюванні ректифікаційної колони.

Матеріали і методи. В технологічній схемі очистки етанолу РК концентрує етиловий спирт, вилучає проміжні, кінцеві домішки та залишок головних. При цьому концентрація етанолу піднімається до значень, близьких до азеотропної точки [1]. Моделювання РК проводилося при концентрації верху колони в діапазоні 92—95% об. для біоетанолу та 96,4% об. для харчового етанолу [2; 5].

У ректифікаційній колоні задані склади дистилляту y та кубового залишку x можуть бути отримані при різних значеннях флегмового числа та відповідного числа теоретичних тарілок. При безкінечному флегмовому числі кількість тарілок мінімальна [1].

Загальний вигляд залежності числа теоретичних тарілок від флегмового числа для традиційної дистиляції зображено на рис. 1.

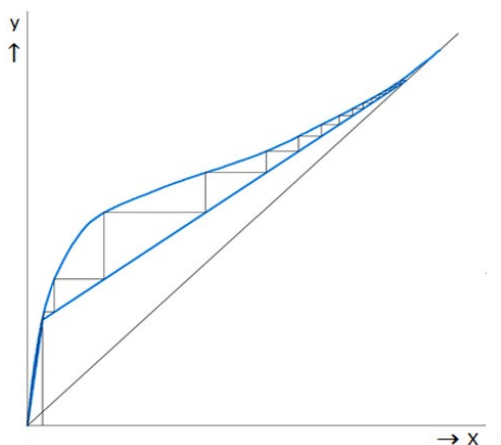


Рис. 1. Графічне визначення кількості теоретичних тарілок для стаціонарного процесу

Аналогічний графік може бути побудований для циклічної дистиляції [4] тільки з використанням запропонованої програми визначення теоретичних тарілок циклічної дистиляції. Загальний вигляд залежності числа теоретичних тарілок від флегмового числа для циклічної дистиляції зображено на рис. 2.

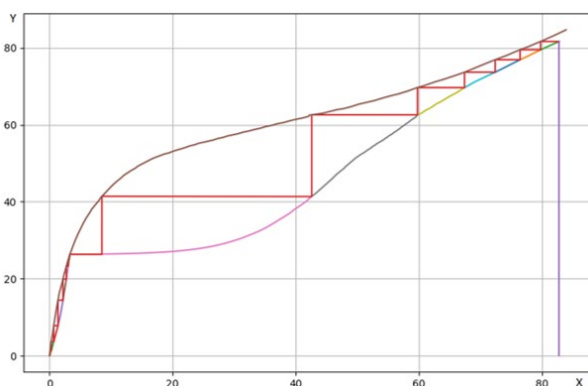


Рис. 2. Графічна інтерпретація визначення теоретичних тарілок для циклічного процесу

Флегмове число та необхідна кількість тарілок є взаємозалежними величинами, якщо величина розділення буде залишатися незмінною.

Завдяки аналізу технологічного процесу [2—5] були зроблені припущення та обмеження:

1. Технологічні параметри не змінюються в широких рамках за малі проміжки часу.
2. Відсутність переливання рідини з тарілки на тарілку під час парового періоду.
3. Відсутність перемішування рідини на суміжних тарілках при переточі рідини з тарілки на тарілку.
4. Ідеальне перемішування рідини на тарілці під час парового періоду.
5. Підтримання постійного тиску.
6. Пара досягає рівноважного значення з рідиною, яка залишається на тарілці.
7. Кількість компонентів, яка зайшла в колону та кількість компонентів, яка вийшла з колони, рівні між собою.
8. Відсутні втрати тепла в навколишнє середовище.

Параметри програми розрахунку ректифікаційної колони представлені на рис. 3.

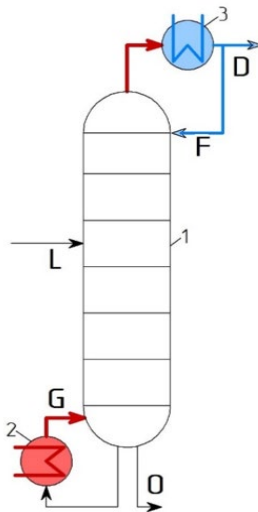


Рис. 3. Технологічні потоки РК: 1 — колона; 2 — кип'ятильник; 3 — конденсатор;
L — живлення; G — пара; D — дистилат; F — флегма; O — лютер

Переважає більшість технологічних схем дистиляції при випуску біоетанолу базується на апаратах прямої дії. Бражка безпосередньо виступає живленням ректифікаційної колони. Тому було прийняте рішення дослідити поведінку РК для заводу продуктивністю 3000 дал/добу з вихідними даними для моделювання: концентрація бражки змінюється в діапазоні 7—12% об., бражний дистилат — 92—95% об., втрати етанолу з лютером — 0,015% об. Вхідні параметри моделювання наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Вхідні параметри моделювання РК

| № досліджу | X_0 , % об. (куб) | X_F , % об. (живлення) | Потік живл., м ³ /год |
|------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 | менше 0,015 | 7 | 17,85 |
| 2 | | 8 | 15,625 |
| 3 | | 9 | 13,88 |
| 4 | | 10 | 12,5 |
| 5 | | 11 | 11,36 |
| 6 | | 12 | 10,42 |

R_{\min} визначали за формулою:

$$R_{\min} = (X_D - B_{\max}) / B_{\max}, \quad (1)$$

де X_D — концентрація спирту на виході, % моль; B_{\max} — величина відрізу від початку координат до точки перетину робочої лінії концентраційної частини колони (при R_{\min}) з віссю Y (координат); B_{\max} визначають графічно.

Математичне моделювання ректифікаційної колони з отриманням спирту концентрації 96,4% об. також важливе, адже існує значна кількість ректифікаційних апаратів, які виробляють етанол харчової якості. При цьому епурат коливався в діапазоні 10—50% об., втрати з лютером складали менше 0,015% об. Мінімальне флегмове число R_{\min} визначали за формулою (1): $R_{\min} = 3,74$. Незмінність мінімального флегмового числа для всіх варіантів розрахунків пов'язана з формою кривої рівноваги етанол-вода. Колона працює при атмосферному тиску продуктивністю 3000 дал/добу. Вхідні параметри моделювання наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Вхідні параметри моделювання РК

| № досліджу | X_0 , % об. (куб) | X_F , % об. (живлення) | Потік живл., м ³ /год |
|------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 | менше 0,004 | 10 | 12,5 |
| 2 | | 20 | 6,25 |
| 3 | | 30 | 4,17 |
| 4 | | 40 | 3,125 |
| 5 | | 50 | 2,5 |

Результати і обговорення

Розрахунок № 1. Результати моделювання ректифікаційної колони для бінарної суміші «етилловий спирт — вода» концентрацією дистилляту на виході з колони 92% об. з концентрацією живлення 7—12% об. наведені у табл. 3—8. Результати моделювання представлені у вигляді таблиць і графіків, де в таблицях N визначає кількість теоретичних тарілок циклічної дистиляції, причому дріб показує співвідношення вичерпної в знаменнику та концентраційної в чисельнику тарілок.

Таблиця 3

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 92% об. | | | | | | | | | | |
| Концентрація живлення — 7% об. | | | | | | | | | | |
| $R_{\min} = 3,1$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{3}{11}$ | $13\frac{3}{10}$ | $12\frac{3}{9}$ | $11\frac{3}{8}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 3,15 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,6 | 4,0 | 4,6 | 5,7 | 8,1 | 10,2 |

Таблиця 4

| | | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 92% об. Концентрація живлення — 8% об. $R_{\min} = 2,7$ | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $14\frac{3}{11}$ | $13\frac{3}{10}$ | $12\frac{3}{9}$ | $11\frac{3}{8}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,75 | 2,77 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,4 | 4,0 | 5,0 | 6,7 | 9,0 |

Таблиця 5

| | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 92% об. Концентрація живлення — 9% об. $R_{\min} = 2,4$ | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $14\frac{4}{10}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{3}{9}$ | $11\frac{3}{8}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,45 | 2,48 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 3,0 | 3,5 | 4,4 | 6,0 | 8,1 |

Таблиця 6

| | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 92% об. Концентрація живлення — 10% об. $R_{\min} = 2,15$ | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $14\frac{4}{10}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{3}{9}$ | $11\frac{3}{8}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,18 | 2,2 | 2,25 | 2,3 | 2,45 | 2,7 | 3,1 | 4,0 | 5,4 | 7,3 |

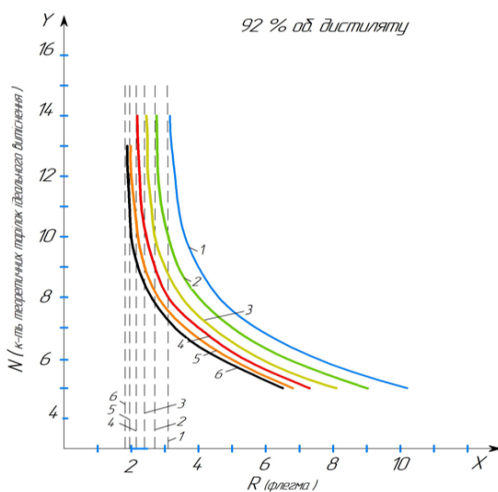
Таблиця 7

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| Концентрація дистилляту — 92% об. Концентрація живлення — 11% об. $R_{\min} = 1,96$ | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{3}{8}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ | |
| <i>R</i> | 1,98 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,8 | 3,6 | 5,0 | 6,7 | |

Таблиця 8

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| Концентрація дистилляту — 92% об. Концентрація живлення — 12% об. $R_{\min} = 1,82$ | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ | |
| <i>R</i> | 1,88 | 1,9 | 1,95 | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 3,3 | 4,5 | 6,5 | |

На рис. 4 наведена залежність числа теоретичних тарілок циклічної дистиляції (*N*) від флегмового числа (*R*) при ступені розділення 0,015—92% об. Графіки цих функцій свідчать, що при концентрації бражного дистилляту 92% об. РК має однакову кількість тарілок (близько 14) для всіх значень концентрації бражки. Показовими є питомі витрати пари, що мають суттєву залежність від концентрації бражки. Так, зменшення концентрації з 12 до 7% призводить до збільшення витрати пари в 1,5—1,7 раза.



1 - $R_{\min} = 3,1$, 7 % об. 4 - $R_{\min} = 2,15$, 10 % об.
 2 - $R_{\min} = 2,7$, 8 % об. 5 - $R_{\min} = 1,96$, 11 % об.
 3 - $R_{\min} = 2,4$, 9 % об. 6 - $R_{\min} = 1,82$, 12 % об.

Рис. 4. Графік залежності кількості тарілок (N) від флегмового числа (R) для дистилляту концентрації 92% об.

Розрахунок № 2. Результати моделювання ректифікаційної колони для бінарної суміші «етиловий спирт — вода» концентрацією дистилляту на виході з колони 93% об. з концентрацією живлення 7—12% об. наведені у табл. 9—14.

Таблиця 9

| | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 93% об. Концентрація живлення — 7% об. $R_{\min} = 3,26$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{4}{10}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{8}$ | $10\frac{3}{7}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 3,35 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4,1 | 4,4 | 4,9 | 5,9 | 8,0 | 12,0 |

Таблиця 10

| | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 93% об. Концентрація живлення — 8% об. $R_{\min} = 2,83$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{4}{10}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 2,87 | 2,95 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 3,8 | 4,2 | 5,2 | 7,5 | 10,5 |

Таблиця 11

| | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 93% об. Концентрація живлення — 9% об. $R_{\min} = 2,5$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{4}{10}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{3}{6}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 2,55 | 2,6 | 2,7 | 2,85 | 3,1 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 6,3 | 9,4 |

Таблиця 12

| | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 93% об. Концентрація живлення — 10% об. $R_{\min} = 2,25$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{4}{10}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 2,28 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 4,2 | 5,8 | 8,6 |

Таблиця 13

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 93% об. Концентрація живлення — 11% об. $R_{\min} = 2,07$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 2,1 | 2,15 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 3,2 | 3,8 | 5,3 | 8,0 |

Таблиця 14

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 93% об. Концентрація живлення — 12% об. $R_{\min} = 1,92$ | | | | | | | | | | |
| N | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{3}{5}$ | $7\frac{3}{4}$ | $6\frac{3}{3}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| R | 1,95 | 2,0 | 2,05 | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 3,6 | 5,0 | 7,4 |

На рис. 5 наведена залежність числа теоретичних тарілок (N) від флегмового числа (R) при отриманні біоетанолу 93% об. з різною концентрацією живлення.

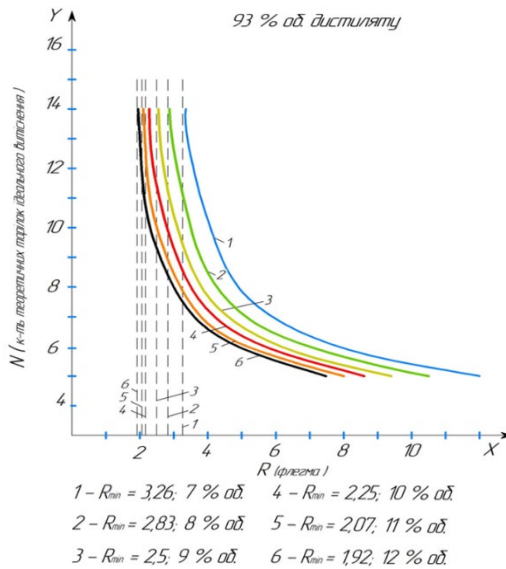


Рис. 5. Графік залежності кількості тарілок (N) від флегмового числа (R) для дистилляту концентрації 93% об.

Розрахунок № 3. Результати моделювання ректифікаційної колони для бінарної суміші «етиловий спирт — вода» концентрацією дистилляту на виході з колони 94% об. з концентрацією живлення 7—12% об. наведені у табл. 15—20.

Таблиця 15

| | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 94% об. Концентрація живлення — 7% об. $R_{\min} = 3,4$ | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $15\frac{5}{10}$ | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{4}{9}$ | $12\frac{4}{8}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{4}{4}$ | $7\frac{4}{3}$ | $6\frac{4}{2}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 3,45 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 4,0 | 4,4 | 5,0 | 6,2 | 8,5 | 12,0 | 20,0 |

Таблиця 16

| | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 94% об. Концентрація живлення — 8% об. $R_{\min} = 2,97$ | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $15\frac{5}{10}$ | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{5}{8}$ | $12\frac{5}{7}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{4}{4}$ | $7\frac{4}{3}$ | $6\frac{4}{2}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 3,05 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,5 | 3,8 | 4,4 | 5,4 | 7,3 | 10,5 | 16,4 |

Таблиця 17

| | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 94% об. Концентрація живлення — 9% об. $R_{\min} = 2,63$ | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $15\frac{5}{10}$ | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{5}{8}$ | $12\frac{5}{7}$ | $11\frac{4}{7}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{4}{4}$ | $7\frac{4}{3}$ | $6\frac{4}{2}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,65 | 2,7 | 2,8 | 2,95 | 3,15 | 3,4 | 3,9 | 4,8 | 6,6 | 9,4 | 14,6 |

Таблиця 18

| | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 94% об. Концентрація живлення — 10% об. $R_{\min} = 2,38$ | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $15\frac{5}{10}$ | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{5}{8}$ | $12\frac{5}{7}$ | $11\frac{5}{6}$ | $10\frac{4}{6}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{4}{4}$ | $7\frac{4}{3}$ | $6\frac{4}{2}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,44 | 2,47 | 2,55 | 2,7 | 2,9 | 3,2 | 3,6 | 4,4 | 6,0 | 8,6 | 13,1 |

Таблиця 19

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 94% об. Концентрація живлення — 11% об. $R_{\min} = 2,18$ | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $15\frac{6}{9}$ | $14\frac{5}{9}$ | $13\frac{5}{8}$ | $12\frac{5}{7}$ | $11\frac{5}{6}$ | $10\frac{5}{5}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{4}{4}$ | $7\frac{4}{3}$ | $6\frac{4}{2}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,22 | 2,25 | 2,35 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 3,4 | 4,1 | 5,4 | 7,8 | 12,0 |

Таблиця 20

| | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 94% об. Концентрація живлення — 12% об. $R_{\min} = 2,02$ | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $15\frac{6}{9}$ | $14\frac{6}{8}$ | $13\frac{5}{8}$ | $12\frac{5}{7}$ | $11\frac{5}{6}$ | $10\frac{5}{5}$ | $9\frac{4}{5}$ | $8\frac{4}{4}$ | $7\frac{4}{3}$ | $6\frac{4}{2}$ | $5\frac{3}{2}$ |
| <i>R</i> | 2,05 | 2,1 | 2,15 | 2,2 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 3,7 | 5,0 | 7,2 | 11,1 |

На рис. 6 наведена залежність числа теоретичних тарілок (N) від флегмового числа (R) при отриманні біоетанолу 94% об. з різною концентрацією живлення.

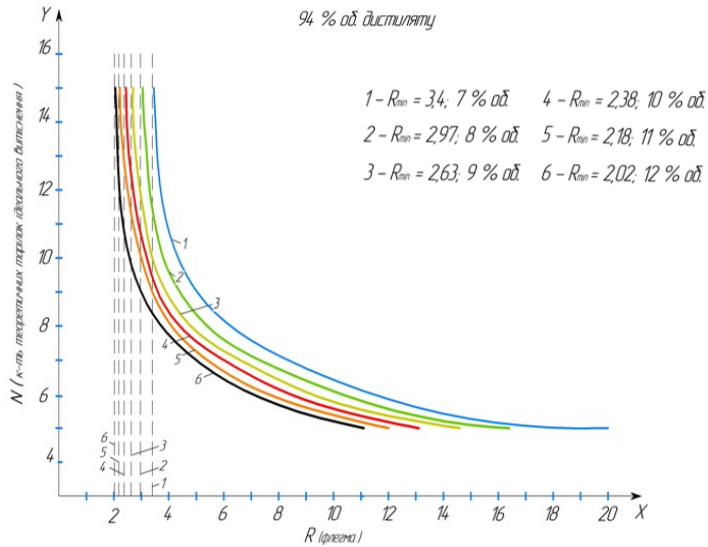


Рис. 6. Графік залежності кількості тарілок (N) від флегмового числа (R) для дистилляту концентрації 94% об.

Розрахунок № 4. Результати моделювання ректифікаційної колони для бінарної суміші «етилловий спирт — вода» концентрацією дистилляту на виході з колони 95% об. з концентрацією живлення 7—12% об. наведені у табл. 21—26.

Таблиця 21

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 95% об. | | | | | | | | | | | | |
| Концентрація живлення — 7% об. | | | | | | | | | | | | |
| $R_{\min} = 3,57$ | | | | | | | | | | | | |
| N | $17\frac{6}{11}$ | $16\frac{6}{10}$ | $15\frac{6}{9}$ | $14\frac{6}{8}$ | $13\frac{6}{7}$ | $12\frac{6}{6}$ | $11\frac{5}{6}$ | $10\frac{5}{5}$ | $9\frac{5}{4}$ | $8\frac{5}{3}$ | $7\frac{5}{2}$ | $6\frac{4}{2}$ |
| R | 3,6 | 3,65 | 3,7 | 3,85 | 4,1 | 4,4 | 4,8 | 5,5 | 6,5 | 8,5 | 11,8 | 17 |

Таблиця 22

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 95% об. | | | | | | | | | | | | |
| Концентрація живлення — 8% об. | | | | | | | | | | | | |
| $R_{\min} = 3,12$ | | | | | | | | | | | | |
| N | $17\frac{7}{10}$ | $16\frac{7}{9}$ | $15\frac{6}{9}$ | $14\frac{6}{8}$ | $13\frac{6}{7}$ | $12\frac{6}{6}$ | $11\frac{6}{5}$ | $10\frac{5}{5}$ | $9\frac{5}{4}$ | $8\frac{5}{3}$ | $7\frac{5}{2}$ | $6\frac{4}{2}$ |
| R | 3,17 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,6 | 3,85 | 4,3 | 4,75 | 5,7 | 7,8 | 10,9 | 15,5 |

Таблиця 23

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 95% об. | | | | | | | | | | | | |
| Концентрація живлення — 9% об. | | | | | | | | | | | | |
| $R_{\min} = 2,77$ | | | | | | | | | | | | |
| N | $17\frac{7}{10}$ | $16\frac{7}{9}$ | $15\frac{7}{8}$ | $14\frac{6}{8}$ | $13\frac{6}{7}$ | $12\frac{6}{6}$ | $11\frac{6}{5}$ | $10\frac{5}{5}$ | $9\frac{5}{4}$ | $8\frac{5}{3}$ | $7\frac{5}{2}$ | $6\frac{4}{2}$ |
| R | 2,85 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,5 | 3,9 | 4,4 | 5,2 | 7,0 | 10,0 | 14,1 |

Таблиця 24

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 95% об. Концентрація живлення — 10% об. $R_{\min} = 2,5$ | | | | | | | | | | | | | |
| N | $18\frac{8}{10}$ | $17\frac{8}{9}$ | $16\frac{7}{9}$ | $15\frac{7}{8}$ | $14\frac{7}{7}$ | $13\frac{6}{7}$ | $12\frac{6}{6}$ | $11\frac{6}{5}$ | $10\frac{5}{5}$ | $9\frac{5}{4}$ | $8\frac{5}{3}$ | $7\frac{5}{2}$ | $6\frac{4}{2}$ |
| R | 2,53 | 2,55 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,95 | 3,2 | 3,6 | 4,4 | 4,9 | 6,5 | 9,4 | 13,2 |

Таблиця 25

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 95% об. Концентрація живлення — 11% об. $R_{\min} = 2,3$ | | | | | | | | | | | | | |
| N | $18\frac{8}{10}$ | $17\frac{8}{9}$ | $16\frac{8}{8}$ | $15\frac{7}{8}$ | $14\frac{7}{7}$ | $13\frac{7}{6}$ | $12\frac{6}{6}$ | $11\frac{6}{5}$ | $10\frac{6}{4}$ | $9\frac{5}{4}$ | $8\frac{5}{3}$ | $7\frac{5}{2}$ | $6\frac{4}{2}$ |
| R | 2,35 | 2,38 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,3 | 3,7 | 4,5 | 6,0 | 8,8 | 12,5 |

Таблиця 26

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Концентрація дистилляту — 95% об. Концентрація живлення — 12% об. $R_{\min} = 2,14$ | | | | | | | | | | | | | | |
| N | $19\frac{9}{10}$ | $18\frac{9}{9}$ | $17\frac{9}{8}$ | $16\frac{8}{8}$ | $15\frac{8}{7}$ | $14\frac{7}{7}$ | $13\frac{7}{6}$ | $12\frac{7}{5}$ | $11\frac{6}{5}$ | $10\frac{6}{4}$ | $9\frac{5}{4}$ | $8\frac{5}{3}$ | $7\frac{5}{2}$ | $6\frac{4}{2}$ |
| R | 2,15 | 2,16 | 2,17 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 4,3 | 5,7 | 8,4 | 11,9 |

На рис. 7 наведена залежність числа теоретичних тарілок (N) від флегмового числа (R) при отриманні дистилляту 95% об. з різною концентрацією живлення.

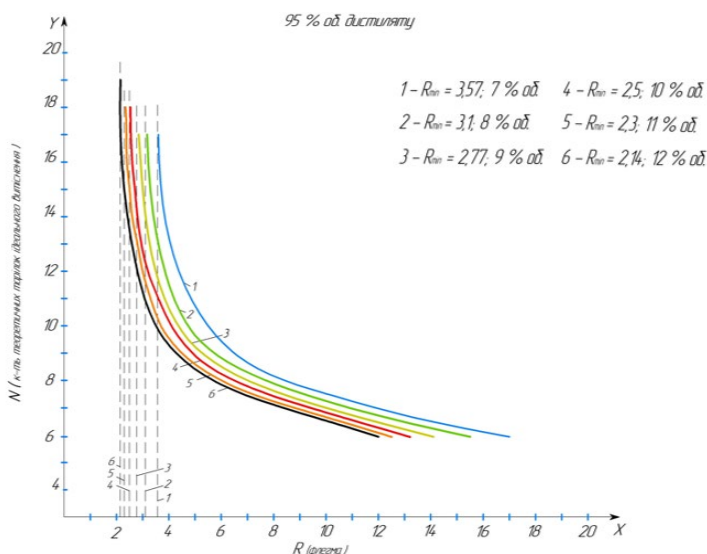


Рис. 7. Залежність кількості тарілок (N) від флегмового числа (R) для дистилляту концентрації 95% об.

Розрахунок № 5. Результати моделювання ректифікаційної колони для бінарної суміші «етилловий спирт — вода» концентрацією дистилляту на виході з колони 96,4% об. з концентрацією живлення 10—50% об. наведені у табл. 27—31.

Таблиця 27

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Концентрація на виході — 96,4% об. Концентрація живлення — 10% об. $R_{\min} = 3,74$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $24\frac{18}{6}$ | $23\frac{18}{5}$ | $22\frac{17}{5}$ | $21\frac{16}{5}$ | $20\frac{15}{5}$ | $19\frac{14}{5}$ | $18\frac{13}{5}$ | $17\frac{13}{4}$ | $16\frac{12}{4}$ | $15\frac{11}{4}$ | $14\frac{11}{3}$ | $13\frac{10}{4}$ | $12\frac{9}{3}$ | $11\frac{9}{2}$ | $10\frac{8}{2}$ |
| <i>R</i> | 3,78 | 3,82 | 3,87 | 4,0 | 4,2 | 4,5 | 4,7 | 5,1 | 5,6 | 6,3 | 7,1 | 8,2 | 10,0 | 13,4 | 18,0 |

Таблиця 28

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--|--|--|
| Концентрація на виході — 96,4% об. Концентрація живлення — 20% об. $R_{\min} = 3,74$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $21\frac{18}{3}$ | $20\frac{17}{3}$ | $19\frac{16}{3}$ | $18\frac{15}{3}$ | $17\frac{14}{3}$ | $16\frac{13}{3}$ | $15\frac{12}{3}$ | $14\frac{11}{3}$ | $13\frac{10}{3}$ | $12\frac{10}{2}$ | $11\frac{9}{2}$ | $10\frac{8}{2}$ | | | |
| <i>R</i> | 3,78 | 3,85 | 4,0 | 4,2 | 4,45 | 4,8 | 5,25 | 5,9 | 6,8 | 7,9 | 10,0 | 15,0 | | | |

Таблиця 29

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--|--|--|
| Концентрація на виході — 96,4% об. Концентрація живлення — 30% об. $R_{\min} = 3,74$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $21\frac{18}{3}$ | $20\frac{17}{3}$ | $19\frac{16}{3}$ | $18\frac{15}{3}$ | $17\frac{14}{3}$ | $16\frac{13}{3}$ | $15\frac{12}{3}$ | $14\frac{11}{3}$ | $13\frac{11}{2}$ | $12\frac{10}{2}$ | $11\frac{9}{2}$ | $10\frac{8}{2}$ | | | |
| <i>R</i> | 3,78 | 3,8 | 3,95 | 4,15 | 4,3 | 4,7 | 5,1 | 5,7 | 6,2 | 7,0 | 8,7 | 14,0 | | | |

Таблиця 30

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--|--|--|
| Концентрація на виході — 96,4% об. Концентрація живлення — 40% об. $R_{\min} = 3,74$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $21\frac{18}{3}$ | $20\frac{17}{3}$ | $19\frac{16}{3}$ | $18\frac{15}{3}$ | $17\frac{15}{2}$ | $16\frac{14}{2}$ | $15\frac{13}{2}$ | $14\frac{12}{2}$ | $13\frac{11}{2}$ | $12\frac{10}{2}$ | $11\frac{9}{2}$ | $10\frac{8}{2}$ | | | |
| <i>R</i> | 3,78 | 3,9 | 4,05 | 4,2 | 4,3 | 4,6 | 5,0 | 5,5 | 6,6 | 8,3 | 9,0 | 12,5 | | | |

Таблиця 31

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|--|--|--|--|
| Концентрація на виході — 96,4% об. Концентрація живлення — 50% об. $R_{\min} = 3,74$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>N</i> | $20\frac{18}{2}$ | $19\frac{17}{2}$ | $18\frac{16}{2}$ | $17\frac{15}{2}$ | $16\frac{14}{2}$ | $15\frac{13}{2}$ | $14\frac{12}{2}$ | $13\frac{11}{2}$ | $12\frac{10}{2}$ | $11\frac{9}{2}$ | $10\frac{8}{2}$ | | | | |
| <i>R</i> | 3,78 | 3,8 | 3,9 | 4,1 | 4,3 | 4,6 | 5,0 | 5,5 | 6,4 | 8,0 | 11,7 | | | | |

На рис. 8 наведена залежність числа теоретичних тарілок (*N*) від флегмового числа (*R*) при отриманні дистилляту 96,4% об. з різною концентрацією живлення.

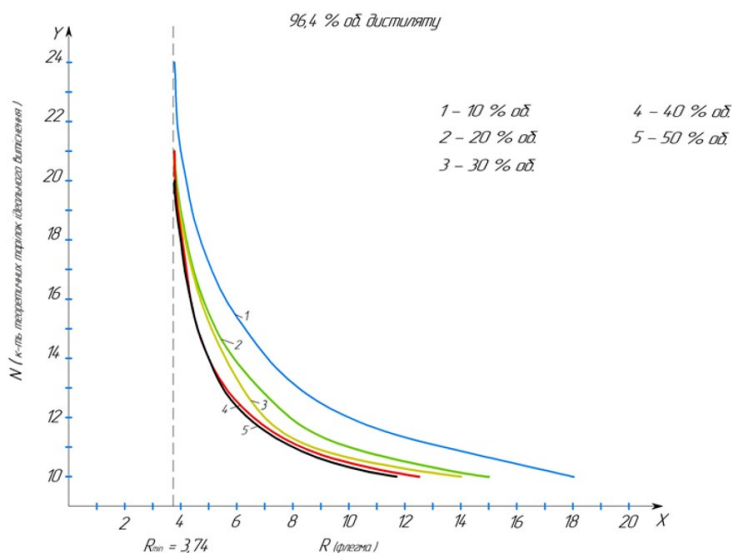


Рис. 8. Графік залежності кількості тарілок (N) від флегмового числа (R) для дистилляту концентрації 96,4% об.

Висновки

Проаналізувавши табл. 3—26 та рис. 4—7, можна зробити висновок, що тенденції впливу технологічних параметрів на роботу ректифікаційної колони не змінюються, якщо порівняти з традиційною дистилляцією. Так, мінімальна витрата пари досягається при максимальній концентрації бражки. Зі збільшенням флегмового числа відбувається перерозподіл співвідношення кількості тарілок у вичерпній і концентраційній частинах колони. Суттєвою відмінністю для стаціонарного та циклічного процесів є кількісні показники розрахунку, такі як кількість теоретичних тарілок і флегмові числа.

Моделювання ректифікаційної колони при отриманні харчового спирту 96,4% об. показало, що найбільший вплив зміни концентрації елюату відбувається у відгінній частині колони. Зі зменшенням концентрації елюату з 50 до 10% об. кількість тарілок у відгінній частині колони збільшується втричі. Це призводить до зміни розподілення домішок по висоті колони, що потребує нових досліджень. Концентраційна частина колони також змінюється, але ці зміни незначні.

Література

1. Цыганков П. С. Ректификационные установки спиртовой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 336 с.
2. Маleta В. Н. Интенсификация процесса массообмена при циклической работе аппаратов пищевых производств. Дис. канд. техн. наук. Киев, 1988. 172 с.
3. Kiss A. A. Cyclic distillation — towards energy efficient binary distillation / Anton A. Kiss, Servando J. Flores Landaeta and Edwin Zondervan // Proceedings of the 22nd European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 17—20 June 2012, London.
4. Maleta V., Kiss A., Taran V., Maleta B. Understanding process intensification in cyclic distillation systems. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2011. Volume 50, Issue 7. P. 655—664.
5. Maleta B., Shevchenko A., Bedryk O., Kiss A. Pilot-Scale Studies of Process Intensification by Cyclic Distillation. *Chemical Engineers AChE Journal*, 61: 2581—2591, 2015.

PECULIARITIES OF THE MOTION OF THE PSEUDORELATIVISTIC DIRAC QUASIPARTICLES IN THE ALPHA- T_3 MODEL WITH THE STEP-LIKE BARRIER

A. Korol, N. Medvid'

National University of Food Technologies

Key words:

*α - T_3 model,
Step-like barrier,
Transmission spectra*

Article history:

Received 09.03.2020
Received in revised form
23.03.2020
Accepted 06.04.2020

Corresponding author:

A. Korol
E-mail:
korolam@ukr.net

ABSTRACT

Within the continuous approach, the transmission coefficient T of the Dirac quasielectrons through a step-like potential barrier in the α - T_3 model is calculated and analyzed. It is believed that the degree of coupling of the central atom with the atoms in the vertices of the hexagonal lattice is characterized by the parameter α , which can acquire values from zero to one. Particular attention is given in the work to intermediate values of α , since, it is known from the literature, that they are important for observing a lot of physical phenomena. The wave functions as well as the transmission ratio are sought by the Dirac type equation. The Hamiltonian of the system is represented by a spinor of 9 components, which is expressed, in particular, by the parameter α . The transmission coefficient is found by means of matching of wave functions at heterojunctions.

In particular, it is found that there is a range of problem parameters, such as the height of the electrostatic barrier U , the energy of the quasielectrons E , the ratio of the Fermi velocities in the barrier and out-of-barrier areas β , in which the value of the transmission coefficient reaches maximum, that is, it is close to unity for α values close to unity. In this area, the dependence of the transmission coefficient on the value of α is weak. When the value of α becomes exactly equal to one, then the value of the transparency coefficient reaches the absolute maximum, that is, one. For the zero angle of incidence of quasiparticles on the barrier, the Klein paradox phenomenon is observed, i.e, the quantum transparency of the system is perfect, and this is right for any values of the parameters α , β , U , E . For certain ratios of particle energy E , the barrier height U and the magnitude of β there is the supertunneling phenomenon, which is that under these conditions the transmission coefficient is equal to one independently of the angle of incidence of the particles on the barrier. Characteristic of the transmission spectra $T(E)$ is also the presence of a critical angle of incidence and a gap of energies.

ОСОБЛИВОСТІ РУХУ ПСЕВДОРЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ДІРАКІВСЬКИХ КВАЗІЧАСТИНОК В АЛЬФА- T_3 МОДЕЛІ ІЗ СХОДИНКОПОДІБНИМ БАР'ЄРОМ

А. М. Король, Н. В. Медвідь

Національний університет харчових технологій

У рамках континуального підходу розраховано і проаналізовано коефіцієнт трансмісії T діраківських квазіелектронів крізь сходинокподібний потенціалний бар'єр в α - T_3 моделі. Вважається, що ступінь зв'язку центрального атома з атомами у вершинах гексагональної ґратки характеризується параметром α , який може набувати значення від нуля до одиниці. Особливу увагу приділено проміжним значенням α , оскільки, як відомо з літератури, вони є важливими для спостереження низки фізичних явищ. Хвильові функції, а також коефіцієнт трансмісії визначено за допомогою рівняння діраківського типу. Гамільтоніан системи представлено спінором із дев'яти компонентів, які виражаються, зокрема, через параметр α . Коефіцієнт трансмісії знайдено за допомогою зшивання хвильових функцій на гетеромержах.

З'ясовано, зокрема, що існує область параметрів задачі, таких як висота електростатичного бар'єру U , енергія квазіелектрона E , відношення швидкостей Фермі в бар'єрній і позабар'єрній областях β , в якій значення коефіцієнта трансмісії досягає максимуму, тобто наближається до одиниці, для близьких до одиниці значень α . В цій області залежність коефіцієнта трансмісії від величини α є слабкою. Коли величина α стає точно рівною одиниці, то і значення коефіцієнта прозорості досягає абсолютного максимуму, тобто одиниці. Для нульового кута падіння квазічастинок на бар'єр спостерігається явище клейнівського парадоксу, тобто квантова прозорість системи є ідеальною, і це справедливо для будь-яких значень параметрів α , β , U , E . Для певних співвідношень енергії частинок E , висоти бар'єру U і величини β має місце явище супертунелювання, яке полягає в тому, що для заданих умов коефіцієнт трансмісії дорівнює одиниці незалежно від кута падіння частинок на бар'єр. Характерним для трансмісійних спектрів $T(E)$ є також наявність критичного кута падіння та забороненої зони енергії.

Ключові слова: α - T_3 модель, сходинокподібний бар'єр, спектри трансмісії.

Introduction. Some modern physical structures can be conveniently described using the so-called α - T_3 model [1—8]. This model can rightly be attributed to a new class of objects that have received the name of Dirac materials in recent years [9]. These include very different objects in their structure, in particular the low and high-temperature d-wave superconductors, superfluid phases ^3He , graphene, two- and three-dimensional insulators etc. [9]. The key concept that unites these different objects is a linear dispersion relation that describes the low-energy excitations of the quasiparticles. Due to the fact that the Dirac materials have a number of non-trivial, interesting properties, they are actively studied in the last time. Under low energies, the quasiparticle states of the Dirac materials are described by a massless Dirac equation in one

or two dimensions, analogous to the equation for the quasielectrons in graphene. The dispersion relation for the Dirac particles relates to a cone in the three-dimensional case. Some properties of the quasiparticle states are expressed in terms of topologically invariant quantities and, importantly, are protected from the influence of moderate perturbations due to the symmetry of inversion of time in the corresponding Hamiltonian.

The α - T_3 model is an intermediate structure between a dice lattice and graphene. It is characterized by the parameter α , which determines the coupling strength between the central atom of the hexagonal lattice and the atoms in the hexagon vertices [1—8]. It is clear that different values of α correspond to different physical states of the α - T_3 model and it was successfully applied to various physical structures [1—8].

At the same time, it is known that the characteristics of structures based on Dirac materials are significantly influenced by the difference in the values of the Fermi velocity in different parts of the structure [10—19]. A lot of various structures with non-equal Fermi velocities in different areas of the given structure were studied in last years. They comprise the graphene based single- and double-barrier structures, various types of superlattices including the quasiperiodic ones, superconducting junctions, structures based on the topological insulators etc. [10—19].

Motivated by the above considerations, in this paper, we study the ballistic transmission of quasielectrons through a step-like potential barrier in the α - T_3 model, and show that it depends strongly on the relation between the parameters α and β , where β is equal to the ratio of the Fermi velocities in the barrier and out-of-barrier areas. By changing the values of the parameters α and β , one can flexibly control the transmission properties of the structure under consideration within a wide range.

Model and Formulae. The Dirac-like equation for the considered model can be represented as follows [1—8]

$$\begin{pmatrix} 0 & f \cos \varphi & 0 \\ f^* \cos \varphi & 0 & f \sin \varphi \\ 0 & f^* \sin \varphi & 0 \end{pmatrix} \psi + UI_0 \psi = E \psi \quad (1)$$

where U is the external potential which corresponds to the rectangular barrier and is equal to

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ U, & x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

in different areas of the given structure; I_0 is the identity matrix.

The quantity f in (1) is equal to

$$f = v_F (k_x - ik_y) \quad (3)$$

where k_x, k_y are the quasi-momentum components, v_F the Fermi velocity.

For our purpose it is sufficient to take into consideration only one K valley in the hexagonal Brillouin zone. The quantities v_F and k_x acquire different values in the barrier and out-of-barrier areas. The parameter φ is introduced for convenience: $\varphi = \arctg \alpha$, α is a parameter showing the coupling strength of the central atom with the atom at the hexagon vertices; for the dice lattice $\alpha = 1$, for graphene $\alpha = 0$.

The eigenfunctions in the equation (1) can be represented as follows:

$$\Psi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos \varphi e^{i\theta} \\ 1 \\ \sin \varphi e^{-i\theta} \end{pmatrix} e^{ik_x x} e^{ik_y y} + \frac{r}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -\cos \varphi e^{i\theta} \\ 1 \\ -\sin \varphi e^{-i\theta} \end{pmatrix} e^{-ik_x x} e^{ik_y y} \quad (4)$$

where θ, φ are the angle of incidence and the refraction angle respectively, the quasimomentums in the out-of-barrier area k_x and in the barrier area q_x are equal to:

$$k_x = \sqrt{E^2 - k_y^2}; \quad q_x = \sqrt{\frac{(U - E)^2}{\beta} - k_y^2}; \quad (5)$$

$$tg \varphi = \frac{q_y}{q_x}; \quad q_y = k_y$$

the linear dispersion relation is used and the units with $v_{FI} = 1; \hbar = 1$ are adopted.

Using the appropriate matching conditions [20, 21] we can deduce the expression for the transmission coefficient T :

$$T = 4 \cos^2 \theta \cos^2 \varphi / f_p^2 \quad (6)$$

$$f_p = 2 - 2 \cos(\theta + \varphi) - \sin^2(2\varphi)(\sin \theta + \sin \varphi)^2$$

Results and Discussion. The most important and at the same time characteristic feature of the presented graphs is the presence of resonance values $T=1$ in them, which testify to the perfect transparency of this structure for the certain energies. As can be deduced from the formulas above, the values of the energies E_l for which perfect transparency holds are subordinated to the formula

$$E_l = \frac{U}{|1 \pm \beta|}$$

that is, these values are essentially dependent on the parameters U and β and are independent of α . As shown in the following Fig. 1 for the dependence of T on the angle of incidence θ , the energy E_{\pm} corresponds to the phenomenon of the supertunneling, which is that under these conditions the transmission coefficient is equal to one independently from the angle of incidence of the particles on the barrier.

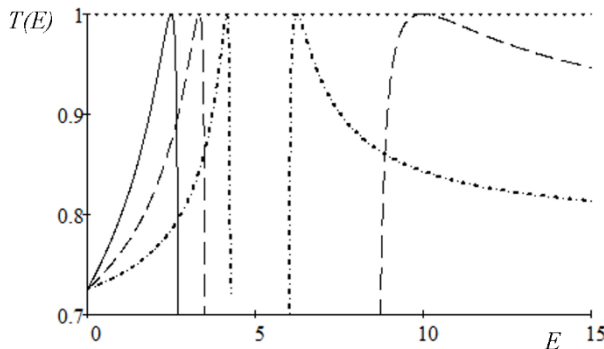


Fig. 1. Plot of $T(E)$ function for the following set of the problem parameters: $U = 5, \alpha = 0, \theta = 1.3$ for all curves, $\beta = 0.2, 0.5, 1$ for the dashed and dotted, dashed and solid lines respectively

Thus, an important conclusion can be made: in the system under consideration, it is possible to create conditions for the realization of the phenomenon of the super-tunneling.

In the general case, an increase in the parameter α leads to an increase in T , which is clearly visible both as a function of $T(E)$ (Figs. 1, 2) and as a function of $T(\theta)$ (Fig. 3a, b).

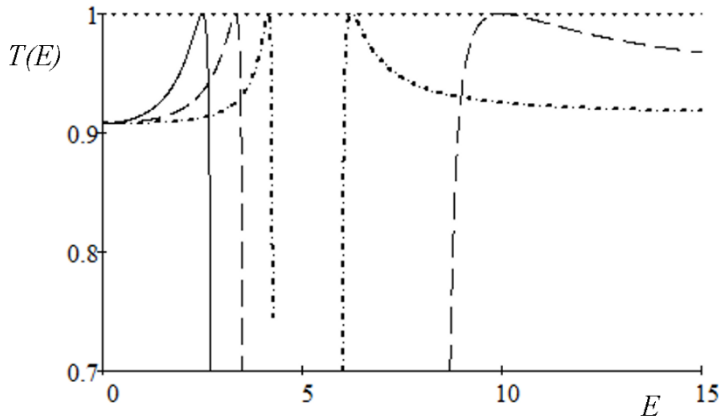


Fig. 2. Plot of the $T(E)$ function for the following set of the problem parameters: $U = 5$, $\alpha = 1$, $\theta = 1.3$, $\beta = 0.2$, 1 for the dashed and dotted, dashed and solid lines respectively

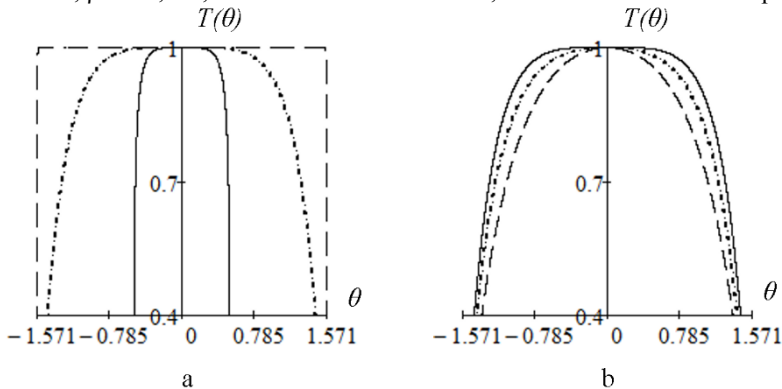


Fig. 3. a. T vs θ dependence, other parameters are as follows: $E = 2$, $U = 3$, $\beta = 5$ for all the curves, $\alpha = 0, 0.5, 1$ for the solid, dashed and dashed and dotted lines respectively;
b. T vs θ dependence, other parameters are as follows: $E = 2$, $U = 3$, $\beta = 0.1$ for all the curves, $\alpha = 0, 0.5, 1$ for the solid, dashed and dashed and dotted lines respectively

The dependence of T on the actual parameter α can be traced using Fig. 4. It is seen that T is weakly dependent on α over the entire range of change α , see also Fig. 3. a, b. At the same time, T strongly depends on θ , see Figs 3. a, b falling sharply with increasing θ until the angles θ exceeds the critical angle θ_c , resulting in a completely opaque barrier. And for small θ , the value of T is large.

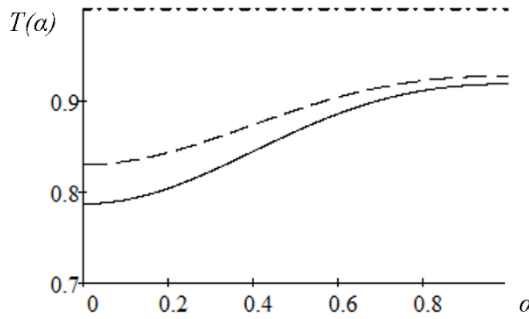


Fig. 4. Graph of the $T(\alpha)$ dependence, other parameters are as follows: $U = 3, E = 2, \theta = 1$, for all curves, $\beta = 0.2, 0.5, 1$ for the dashed, dashed and dotted, and solid lines respectively

For the same reason, T also falls sharply with increasing β , which is explained by the formula for the critical angle θ_c that we obtained from the Snell's law. The dependence of T on U has the form similar to the dependence of $T(E)$; this is quite natural since the quantities E and U are included in the formula for T in a symmetrical manner.

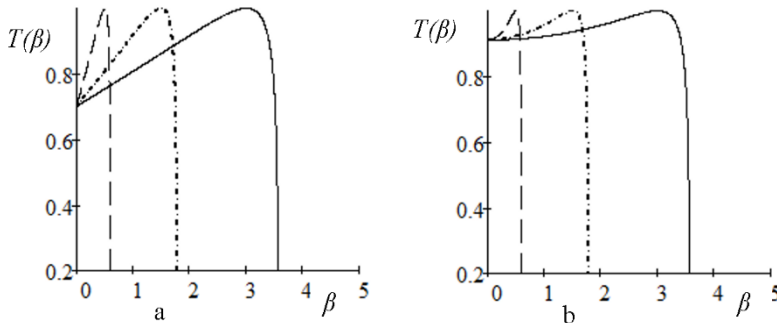


Fig. 5. a. T vs β dependence, other parameters are as follows: $E = 2, \theta = 1, \alpha = 1$, with solid lines of $U = 8$, the dotted line of $U = 3$, the dashed line of $U = 1$;
b. T vs β dependence, other parameters are as follows: for solid line $U = 8$, the dotted line $U = 3$, the dashed line $U = 1, E = 2, \theta = 1, \alpha = 0$

Analyzing the dependence of the transmission spectra on the parameter β presented in Figs. 5. a, b (the parameters for these figures are as follows: $E = 2, \theta = 1$ for both figures, $\alpha = 1$ and $\alpha = 0$ for Figs. 5. a and 5. b, respectively, with solid lines the value of $U = 8$, the dotted $U = 3$, the dashed $U = 1$), note the following features: 1) the dependence of $T(\beta)$ is weak for small values of β ($\beta < 1$); 2) curves $T(\beta)$ are characterized by the presence of a maximum corresponding to the phenomenon of supertunneling; 3) characteristic of both figures is a sharp decrease in the value of T with increasing and exaggerating parameter β of the critical value β_c . This means that if, for example, we fix all parameters except the angle of incidence θ , then a very sharp decrease in T will be observed when approaching θ to the critical value θ_c .

Conclusions

Transmission properties of single-barrier structure based on α - T_3 model are considered in the paper. It is believed that the barrier is sharp and has a rectangular shape. The physical origin of the barrier is assumed to be electrostatic, but it is taken into

account that the Fermi velocities in the barrier and non-barrier areas have different values and are referred to in the literature as the Fermi velocity barrier. The parameter α in this model can take values from zero to one, moreover the case $\alpha = 0$ corresponds to graphene and $\alpha = 1$ to the dice lattice. Particular attention is given in the work to intermediate values of α , since, as is known from the literature, they are important for observing of a lot of physical phenomena. The wave functions as well as the transmission ratio are obtained by the Dirac type equation. The Hamiltonian of the system is represented by a spinor of 9 components, which is expressed, in particular, by the parameter α . The transmission coefficient is deduced by means of matching of wave functions at the heterojunctions.

The obtained spectra show a pronounced dependence on an angle of incidence of pseudo-relativistic Dirac quasiparticles on the barrier of the structure under consideration. In particular, for the zero incidence angle, there is a perfect penetration of particles through the barrier for any values of the parameters α , β , as well as of the barrier height and thickness, that is, an effect similar to the Klein paradox is realized. Instead, for certain energies the quasiparticles we observe the effect of supertunneling, which is that for these energies the barrier of the system becomes absolutely quantum-transparent for any angle of incidence of the particles on the barrier.

References

1. Raoux A., Morigi M., Fuchs J-N., Piéchon F., and Montambaux G. From Dia- to Paramagnetic Orbital Susceptibility of Massless Fermions. *Phys. Rev. Lett.*, 2014. Vol. 112, P. 026402.
2. Piéchon F., Fuchs J-N., Raoux A. and Montambaux G. Tunable orbital susceptibility in α - T_3 tight-binding models. *J. Phys.* 2015. Conf. Ser. 603:012001.
3. Malcolm J. D. and Nicol E. J. Magneto-optics of massless kane fermions: Role of the flat band and unusual Berry phase. *Phys. Rev.* 2015. B 92, P. 035118.
4. Illes E. and Nicol E. J. Magnetic properties of the α - T_3 model: Magneto-optical conductivity and the Hofstadter butterfly. *Phys. Rev.* 2016. B 94, P. 125435.
5. Kovács Á. D., Dávid G., Dóra B. and Cserti J. Frequencydependent magneto-optical conductivity in the generalized α - T_3 model. *Phys. Rev.* 2017. B 95, P. 035414.
6. Biswas T. and Ghosh T. K. Magnetotransport properties of the α - T_3 model. *J. Phys.: Condens. Matter.* 2015. Vol.28, P. 495302.
7. Illes E., Carbotte J. P., and Nicol E. J. Hall quantization and optical conductivity evolution with variable Berry phase in the α - T_3 model. *Phys. Rev.* 2015. B 92, P. 245410.
8. Illes E., Nicol E. J. Klein tunneling in the alfa- T_3 model. *Phys. Rev.* 2017. B 95, P. 235432.
9. Wehling T. O., Black-Schaffer A. M., Balatsky A. V. Dirac materials. *Adv. Phys.* 2015. Vol. 63, P. 1.
10. Liu L., Yu-Xian Li., Liu J. Transport properties of Dirac electrons in graphene based double velocity-barrier structures in electric and magnetic fields. *Phys Letters.* 2012. A 376, P. 3342—3350.
11. Wang Y., Liu Y., Wang B. Resonant tunneling and enhanced Goos-Hänchen shift in graphene double velocity barrier structure. *Physica.* 2013. E 53, P. 186—192.
12. Sun L., Fang C., Liang T. Novel transport properties in monolayer graphene with velocity modulation. *Chin Phys. Lett.* 2013. № 30 (4), P. 047201.
13. Raoux A., Polini M., Asgari R., Hamilton A. R., Fasio R., MacDonald A. H. Velocity — modulation control of electron-wave propagation in graphene. *arXiv.* 2009. 0912.2608v1 [cond-mat.mes-holl].

14. Concha A., Tešanović Z. Effect of a velocity barrier on the ballistic transport of Dirac fermions. *Phys Rev.* 2010. B 82, P. 033413.
15. Yuan J. H., Zhang J. J., Zeng Q. J., Zhang J. P., Cheng Z. Tunneling of Dirac fermions in graphene through a velocity barrier with modulated by magnetic fields. *Physica.* 2011. B 406, P. 4214—4220.
16. Krstajic P. M., Vasilopoulos P. Ballistic transport through graphene nanostructures of velocity and potential barriers. *J Phys.: Condens Matter.* 2011. Vol. 23, P. 000000(8pp).
17. Korol A. M., Medvid' N. V., Sokolenko A. I. Transmission of the Relativistic Fermions With the Pseudospin Equal to One Through the Quasi-Periodic Barriers. *Physica Status Solidi.* 2018. (B) Basic Research Vol. 255 (9), P. 1800046.
18. Korol A. M., Medvid' N. V., Sokolenko A. I., Sokolenko I. V. Ballistic transmission of the Dirac quasielectrons through the barrier in the 3D topological insulators. *Springer Proceedings in Physics.* 2019. Vol. 221, p. 517—525.
19. Korol A. M. Tunneling conductance of the s-wave and d-wave pairing superconductive graphene — normal graphene junction. *Low Temperature Physics.* 2019. Vol.45(5), A48.
20. Takahashi R., Murakami S. Gapless Interface States between Topological Insulators with Opposite Dirac Velocities. *Phys. Rev.* 2011. Vol. 107, P. 166805.
21. Diptiman Sen, Oindrila Deb. Junction between surfaces of two topological insulators. *Phys. Rev.* 2012. B 85, P. 245402.

BISCUITS WITH MODIFIED CARBOHYDRATE COMPOSITION FOR DIABETIC NUTRITION

G. Simakhina, O. Vysotsky

National University of Food Technologies

Key words:

Baked confectionery items
Glycemic index
easily absorbed
carbohydrates
Grain cultures
Stevia
Wild berries
Healthy foodstuffs

Article history:

Received 25.03.2020
Received in revised form
08.04.2020
Accepted 22.04.2020

Corresponding author:

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

ABSTRACT

According to up-to-date notions, the proportion between proteins, fats, and carbohydrates for normal activity of human organism should be calculated as 1:1.1...1.3:4.4...5.0 in other words, the amount of carbohydrates is the largest, and just they are the main sources of energy. Based on the recommendations by WHO experts, a man must receive 50...60 percents of energy from carbohydrates. Their role is as well significant in removal of metabolism waste products, because they are the powerful natural enteric sorbents and complex-makers. Carbohydrates constrain and remove the toxic substances, heavy metals, radionuclides, bile acids etc. from human organism. They also essentially form the rheological, organoleptic, and physiological properties of foodstuffs.

Along with that, unreasonable nutrition, including consumption of refined foodstuffs, artificial food additives, together with other negative factors can cause obesity, diabetes mellitus, metabolic syndrome, atherosclerosis, premature aging etc. As for modern physiologists and physicians, the carbohydrate metabolism pathology is the primary cause for such diseases. Therefore, the necessity to cut down the amounts of mono and disaccharides (i. e. easily absorbed carbohydrates), particularly in confectionery items, has appeared.

This is a very important problem because the analysis of the data of their consumption level is the evidence that practically all the Ukrainian population prefers the baked confectionery items, as people include them into their everyday diets either at home or outside, and also into the children's diets in the organized collectives.

Henceforth, modern specialists in nutrition point out the excessive consumption of sugar in Ukraine, particularly by children of pre-school and school age, which is highly contributed by confectionery items. One of the utmost negative consequence of this problem is that mono and disaccharides absorbed fast by the organism lead to the increase of blood sugar level, which would furthermore cause and enhance the diabetes mellitus.

The authors of this article used the method to lower the glycemic index in the final product, which is to replace the high-glycemic carbohydrates by substances with low glycemic index and also to compensate the sweet taste (partly eliminated with mono and disaccharides removal) by the addition of natural sweeteners, wild berries and β -glucanes as the components of oats and barley. This became the purpose of this research.

ПЕЧИВО МОДИФІКОВАНОГО ВУГЛЕВОДНОГО СКЛАДУ ДЛЯ ДІАБЕТИЧНОГО ХАРЧУВАННЯ

Г. О. Сімахіна, О. О. Висоцький

Національний університет харчових технологій

Згідно із сучасними уявленнями, для нормальної життєдіяльності організму співвідношення білків, жирів і вуглеводів раціоні має складати 1:1,1—1,3:4,4—5,0, тобто вміст вуглеводів найбільший і саме вони є основним джерелом енергії. За рекомендаціями експертів ВООЗ людина має отримувати 50—60% енергії від споживання вуглеводів. Визначною є їхня роль і у видаленні продуктів метаболізму, оскільки вони — потужні натуральні ентеросорбенти і комплексоутворювачі. Вуглеводи зв'язують і видаляють з організму токсини, важкі метали, радіонукліди, жовчні кислоти тощо. Значною мірою вони формують реологічні, органолептичні та фізіологічні властивості їжі.

Разом з тим нераціональне харчування, споживання рафінованих продуктів, штучних харчових добавок, поряд з іншими негативними чинниками, викликає ожиріння, діабет, метаболічний синдром, атеросклероз, передчасне старіння тощо. І, на думку сучасних учених-фізіологів та медиків, первинною причиною таких захворювань є патологія вуглеводного обміну, тому виникає необхідність обмежувати кількість моно- та дисахаридів (тобто швидкозасвоюваних вуглеводів) у харчових продуктах, передусім у кондитерських виробках.

Це є досить важливою проблемою, адже аналіз даних рівня їх споживання свідчить, що практично все населення України віддає перевагу борошняним кондитерським виробам, включаючи їх до щоденних раціонів у домашніх умовах, а також у складі раціону дітей в організованих колективах.

І якщо в останні роки фахівці в галузі харчування акцентують увагу на надмірному споживанні цукру в Україні, в тому числі дітьми дошкільного і шкільного віку, то саме кондитерські вироби вносять значну частку у формування цієї проблеми. А один із її найбільш негативних наслідків полягає в тому, що моно- і дисахариди, які швидко засвоюються організмом, призводять до зростання рівня глюкози в крові, що з часом викликає формування і розвиток цукрового діабету.

У межах цього дослідження використано спосіб зниження глікемічного індексу готового продукту шляхом заміни в його рецептурі високоглікемічних вуглеводів на сполуки з низьким глікемічним індексом, а компенсацію солодкого смаку (при вилученні моно- і дисахаридів) здійснено додаванням природних джерел натуральних підсолоджувачів, дикорослих ягід і β -глюканів у складі вівса та ячменю.

Ключові слова: борошняні кондитерські вироби, глікемічний індекс, легкозасвоювані вуглеводи, зернові культури, стевія, дикорослі ягоди, оздоровчі продукти.

Постановка проблеми. Якісний і кількісний склад харчових раціонів має забезпечити потреби організму в сполуках, з яких у його клітинах та тканинах синтезуються власні структури, необхідні для процесів життєдіяльності, пристосувальних і захисних реакцій. Тому розроблення і введення до сфери раціонів харчування населення України борошняних кондитерських виробів, у яких повністю вилучено або знижено вміст легкозасвоюваних вуглеводів, є актуальним завданням сьогодення харчової промисловості і створення, в тому числі, діабетичного харчування.

В [1] серед основних завдань, які постають у нинішніх умовах перед харчовою промисловістю України, зазначено, що пріоритетним і найбільш дієвим, перевіреним практикою способом корегування раціонів харчування у загальнодержавному масштабі є прискорений розвиток індустрії здорового харчування з її орієнтацією на виробництво продуктів спеціального призначення і надання так званої «дієтичної допомоги населенню» [2]. В межах теми цього дослідження йдеться про те, що спеціальні харчові продукти, нутрієнтний склад яких адекватний потребам організму як для профілактики цукрового діабету, так і при його лікуванні, здатні формувати нові пристосувальні реакції організму, поліпшувати його адаптаційні можливості, активізувати різнобічні ланки гомеостазу.

Важливим аспектом запобігання і лікування цукрового діабету є медична харчова терапія, проте досі не існує специфічної «діабетичної дієти», про що доречно і об'єктивно зазначено у монографії «Углеводы в пищевых продуктах» (автори М. О. Полумбрик та ін.), а спектр наукових досліджень зі створення нових харчових продуктів зі зниженим глікемічним індексом постійно розширюється. В результаті таких досліджень встановлено, наприклад, що хлібобулочні вироби, в тому числі кондитерські, виготовлені з твердих сортів пшениці, мають менший глікемічний індекс порівняно з м'якими сортами, що визначається особливостями взаємодії білків та крохмалю у різних сортах пшениці. Великий інтерес науковців викликають безглютенкові зернові культури; використання у рецептурах харчових продуктів модифікованих крохмалів, що повільно розщеплюються, а також інгібіторів протеолітичних ферментів; залучення до сфери виробництва продуктів зі зниженим глікемічним індексом β -глюканів, отриманих з вівса та ячменю, тощо.

Усі ці дослідження свідчать про важливість проблеми і роль харчової промисловості у її розв'язанні, розуміння науковцями значення здорового харчування, адекватного рівню стану здоров'я і характеру метаболічних порушень в організмі людини як дієтичної терапії. І це узгоджується з одним із основних положень фундаментальної медицини, сформульованих свого часу у працях М. Семашка [3], яке звучить таким чином «Профілактика захворювань — загальнодержавна, а не медична проблема».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед комплексу заходів, спрямованих на оптимізацію раціонів харчування при профілактиці і лікуванні хвороб, пов'язаних із порушенням обміну речовин, в тому числі цукрового діабету, істотне значення має розроблення та виробництво борошняних кон-

дитерських виробів (БКВ) зі зниженим глікемічним індексом [4]. Про це свідчить широкий спектр досліджень і виклад їхніх результатів у наукових публікаціях.

В авторитетній монографії [5], яка має всі підстави з часом стати класичною, проаналізовано декілька популярних методів зниження глікемічної відповіді організму при споживанні певних продуктів. Один із них — заміна вуглеводів з високим глікемічним індексом на сполуки, в яких цей показник значно знижено [6; 7]. Інший метод передбачає заміну в рецептурі БКВ цукру на фруктозу, хоча один із авторів монографії М. О. Полумбрик наводить застереження (з посиланням на [8]) щодо небезпеки тривалого споживання значних кількостей фруктози з точки зору можливості виникнення небажаних ендокринних порушень в організмі людини [15]. Слід зазначити, що на сайтах деяких фірм-виробників і в торговельній мережі представлено продукцію, в рецептурі якої цукор замінено на фруктозу і яка позиціонується як діабетична. Проте в технічних регламентах Митного союзу ТР ТС 027/2012 [9] вказано, що кондитерські вироби на фруктозі не є діабетичними. Таких термінологічних понять і вимог до спеціалізованих харчових продуктів необхідно дотримуватись і розробникам, і виробникам продукції для діабетичного харчування.

Автори [10; 11] відносять модифіковані певним чином БКВ до сегменту продуктів функціонального призначення, які, згідно з прогнозами фахівців, повинні незабаром скласти до 30% світового ринку і навіть витіснити зі сфери реалізації 35—50% багатьох традиційних лікарських препаратів [10]. Розглядаються перспективи широкого застосування в рецептурах БКВ фітодобавок, вітамінних преміксів, мінеральних сполук, пов'язаного не лише з рецептурним складом і технологією виробництва, а й з функціональним призначенням таких продуктів.

Використання як підсолоджувача в рецептурі печива водного екстракту сухого листа стевії і кристалічного порошку — стевіозиду, в 300 разів солодшого за цукор, надало можливість авторам [12] отримати продукт діабетичного призначення з високими споживчими характеристиками.

Останнім часом великої популярності набуває введення до рецептури БКВ зі зниженим глікемічним індексом β -глюканів. Це розчинні компоненти харчових волокон зернових культур — високомолекулярні полімери глюкози, зв'язані глікозидними зв'язками. β -глюкани містяться у клітинних стінках зерна ячменю, вівса, пшениці, жита, кукурудзи, рису, сорго [13]. Джерелами β -глюканів є також деякі штами дріжджів і ряд грибів. Згідно з нормативними документами Європейського Союзу, β -глюкани належать до сполук, споживання яких не підвищує рівень глюкози в крові після прийому їжі. І це відкриває принципово новий напрям у виробництві БКВ діабетичного призначення, особливо зважаючи на той факт, що українські науковці вже розробили технологію препаратів β -глюкану дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* у різних формах: структурній, водорозчинній, біомодифікованій [14], апробацію якої здійснено на ТОВ НВП «Аріадна» (м. Одеса).

Мета статті полягає в обґрунтуванні та розробленні рецептури цукрового печива модифікованого складу для сфери діабетичного харчування, а також технологічного способу його виробництва.

Матеріали і методи. Предметами дослідження є зернові культури (овес, ячмінь, гречка), стевія, ягоди журавлини, рецептура модифікованого печива.

Методи визначення основних біохімічних показників вихідної сировини та готового продукту стандартні.

Викладення основних результатів дослідження. Як контрольний зразок при розробленні рецептури печива з модифікованих вуглеводним профілем обрано цукрове печиво, вироблене за класичною рецептурою і традиційною технологією. Тобто в рецептурі такі інгредієнти: масло вершкове або рослинна олія, ячний порошок, молоко сухе незбиране, екстракт стевії, сухі подрібнені ягоди журавлини. Екстракт стевії та ягоди журавлини надають збалансованого смаку готовому виробу, оскільки цукор повністю виключено з рецептури. Борошно ячменю та вівса містить, як уже зазначалося, β -глюкани, які, сповільнюючи процес усмоктування нутрієнтів, передусім вуглеводів, сприяють нормалізації рівня глюкози в крові у здорових осіб та його зниженню у хворих на цукровий діабет [16].

Для обґрунтування і вибору харчових інгредієнтів, що мають гіпоглікемічну дію, проаналізували біохімічний склад таких видів борошна, як рисове, гречане, вівсяне, ячмінне, які позиціонуються як компоненти для діабетичних продуктів. Потім розрахували інтегральний скор нутрієнтів кожного з видів борошна (табл. 1).

Таблиця 1. Розрахунок інтегрального скору для різних видів борошна

| Назва нутрієнта | Добові потреби | Борошно пшеничне | Борошно рисове | Борошно гречане | Борошно вівсяне | Борошно ячмінне |
|----------------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Білки, г | 61 | 16,93 | 9,75 | 20,69 | 24,03 | 17,21 |
| Жири, г | 62 | 1,58 | 2,29 | 5,00 | 14,71 | 2,58 |
| Вуглеводи, г | 300 | 24,54 | 25,91 | 20,20 | 19,73 | 21,55 |
| Харчові волокна, г | 30 | 9,00 | 8,00 | 33,33 | 21,67 | 33,67 |
| Е, мкг | 15 | 0,40 | 0,73 | 2,13 | 4,67 | 3,80 |
| В1, мг | 1,3 | 9,23 | 10,77 | 32,31 | 53,08 | 28,46 |
| В2, мг | 1,6 | 2,50 | 1,25 | 11,88 | 8,13 | 6,88 |
| В6, мг | 1,8 | 2,22 | 24,44 | 32,22 | 7,22 | 22,22 |
| Ніацин, мг | 16 | 7,81 | 16,19 | 38,44 | 9,19 | 39,19 |
| Фолат, мкг | 400 | 6,50 | 1,00 | 13,50 | 8,00 | 2,00 |
| К, мкг | 100 | 0,30 | 0,00 | 7,00 | 3,20 | 2,20 |
| Пантотенова к-та, мг | 5 | 8,80 | 16,40 | 8,80 | 4,00 | 3,00 |
| Натрій, мг | 5000 | 0,04 | 0,00 | 0,22 | 0,38 | 0,08 |
| Калій, мг | 3700 | 2,89 | 2,05 | 15,59 | 10,03 | 8,35 |
| Кальцій, мг | 1100 | 1,36 | 0,91 | 3,73 | 5,00 | 2,91 |
| Фосфор, мг | 1200 | 9,00 | 8,17 | 28,08 | 37,67 | 24,67 |

Продовження таблиці 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------|-----|-------|-------|--------|--------|-------|
| Магній, мг | 500 | 4,40 | 7,00 | 50,20 | 28,80 | 19,20 |
| Залізо, мг | 17 | 6,88 | 2,06 | 23,88 | 23,53 | 15,76 |
| Цинк, мг | 12 | 5,83 | 6,67 | 26,00 | 26,67 | 16,67 |
| Селен, мкг | 50 | 67,80 | 30,20 | 11,40 | 68,00 | 75,40 |
| Мідь, мг | 1 | 14,00 | 13,00 | 52,00 | 44,00 | 34,00 |
| Марганець, мг | 2 | 34,00 | 60,00 | 101,50 | 201,00 | 51,50 |

За показниками вмісту білка, харчових волокон, більшості вітамінів і мінеральних сполук для подальших досліджень обрано борошно гречане, вівсяне та ячмінне.

Для визначення впливу обраних інгредієнтів на якість готового продукту розроблено рецептури і вироблено модельні зразки печива з модифікованим вуглеводним профілем. Технологія отримання печива складається з таких послідовних стадій: підготовка суміші сипких компонентів; підготовка жирового компонента; приготування емульсії; замішування тіста; формування; випікання; охолодження; пакування; зберігання. Суміш сипких компонентів складалась із таких комбінацій: борошно гречане — 50%; борошно вівсяне і ячмінне — по 25%; наступна комбінація: борошно вівсяне — 50%; борошно гречане і ячмінне — по 25%; у третій комбінації борошно ячмінне — 50%; борошно вівсяне і гречане — по 25%. У кожній із рецептур екстракт стевії (6,8% СР) становить по 2%, а подрібнені сухі ягоди журавлини — по 5%.

Варіанти рецептур модифікованого цукрового печива порівняно з контрольним зразком наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Варіанти рецептур модифікованого печива

| Назва компонента рецептури | Контроль (рецептура 1) | Рецептура 2 | Рецептура 3 | Рецептура 4 |
|----------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Борошно пшеничне | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Борошно гречане | 0,00 | 50,00 | 25,00 | 25,00 |
| Борошно вівсяне | 0,00 | 25,00 | 50,00 | 25,00 |
| Борошно ячмінне | 0,00 | 25,00 | 25,00 | 50,00 |
| Ячний порошок | 7,50 | 7,50 | 7,50 | 7,50 |
| Маргарин | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| Сухе молоко | 4,70 | 4,70 | 4,70 | 4,70 |
| Сіль кухонна | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |
| Цукор білий кристалічний | 33,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Сода | 0,74 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |
| Стевія | 0,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Ягоди журавлини | 0,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Разом | 166,68 | 140,68 | 140,68 | 140,68 |

На основі літературних даних і результатів власних досліджень здійснено розрахунок біохімічного складу цукрового печива модифікованого та традиційного. За отриманими даними розраховано інтегральний скор нутрієнтів печива різних рецептур, наведений у табл. 3.

Порівняльна характеристика печива модифікованого складу (рецептури 2—4) та контролю (рецептура 1) показує явні переваги за нутрієнтним складом усіх

трьох розроблених рецептур. Зокрема, частка білка зростає на 12...15%. Практично на таку ж кількість зменшується вміст вуглеводів, а частка харчових волокон з 5,4 г збільшується до 22,28 г (при добовій потребі в харчових волокнах 25...40 г, у середньому — 30 г). Зростає концентрація більшості вітамінів, особливо фолієвої кислоти та вітаміну К; істотно зростає частка калію, кальцію, фосфору, магнію, заліза.

Таблиця 3. Розрахунок інтегрального скору печива модифікованого та традиційного складу

| Назва нутрієнта | Добові потреби | Контроль (рецептура 1) | Рецептура 2 | Рецептура 3 | Рецептура 4 |
|----------------------|----------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Білки, г | 61 | 14,97 | 20,40 | 21,00 | 19,79 |
| Жири, г | 62 | 20,21 | 27,68 | 29,40 | 27,25 |
| Вуглеводи, г | 300 | 21,83 | 15,55 | 15,47 | 15,79 |
| Харчові волокна, г | 30 | 5,40 | 22,23 | 20,15 | 22,28 |
| Е, мкг | 15 | 12,93 | 17,58 | 18,03 | 17,87 |
| В ₁ , мг | 1,3 | 6,92 | 27,64 | 31,33 | 26,96 |
| В ₂ , мг | 1,6 | 8,55 | 15,29 | 14,62 | 14,40 |
| В ₆ , мг | 1,8 | 1,76 | 17,31 | 12,86 | 15,53 |
| Ніацин, мг | 16 | 5,15 | 22,83 | 17,63 | 22,96 |
| Фолат, мкг | 400 | 3,99 | 6,69 | 5,71 | 4,65 |
| К, мкг | 100 | 0,18 | 3,63 | 2,95 | 2,78 |
| Пантотенова к-та, мг | 5 | 8,88 | 8,85 | 8,00 | 7,82 |
| Натрій, мг | 5000 | 4,43 | 5,38 | 5,41 | 5,36 |
| Калій, мг | 3700 | 3,12 | 10,53 | 9,54 | 9,25 |
| Кальцій, мг | 1100 | 4,34 | 6,94 | 7,16 | 6,79 |
| Фосфор, мг | 1200 | 10,40 | 27,03 | 28,73 | 26,42 |
| Магній, мг | 500 | 3,87 | 27,89 | 24,08 | 22,38 |
| Залізо, мг | 17 | 6,99 | 18,67 | 18,61 | 17,23 |
| Цинк, мг | 12 | 4,83 | 18,55 | 18,67 | 16,89 |
| Селен, мкг | 50 | 4,68 | 29,54 | 39,60 | 40,92 |
| Мідь, мг | 1 | 9,96 | 35,83 | 34,40 | 32,63 |
| Марганець, мг | 2 | 20,68 | 81,92 | 99,60 | 73,03 |

Відомо, що важлива роль будь-якого харчового продукту визначається співвідношенням білків, жирів і вуглеводів. У межах пропонованого дослідження його можна оцінити за даними табл. 4.

Таблиця 4. Співвідношення макронутрієнтів у різних видах печива

| Енергетична цінність | Контроль (рецептура 1) | Рецептура 2 | Рецептура 3 | Рецептура 4 |
|----------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Б (1) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Ж (1) | 1,37 | 1,38 | 1,42 | 1,40 |
| В (4) | 7,17 | 3,75 | 3,62 | 3,93 |

У модифікованих видах печива співвідношення макронутрієнтів наближається до нормативного і, наприклад, для рецептури 4 становить Б:Ж:В = 1:1,4:3,93.

Висновки

Практично всім харчовим продуктам, що їх традиційно споживає населення, можна надати функціональних властивостей і таким чином зробити нашу їжу нашими ліками, як мріяв про це ще Гіппократ. І якщо синтезувати сучасні уявлення про рушійні сили життєзабезпечення організму людини, то на перший план виходить зміна способу життя, основною складовою якого є здорове харчування. Тому перед харчовою промисловістю постало надзвичайно важливе завдання — налагодити випуск продуктів спеціального призначення як елемента здорового харчування. В контексті цієї статті йдеться про продукти для діабетичного харчування.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень здійснено модифікацію вуглеводного профілю цукрового печива, яка полягає в заміні пшеничного борошна з досить високим глікемічним індексом, що традиційно використовується в рецептурах борошняних кондитерських виробів, на композиційну суміш із вівсяного, ячмінного та гречаного борошна, взятих у певних співвідношеннях; у повному вилученні з рецептури цукру і його заміни на інгредієнти, що не викликають гіперглікемічного ефекту (екстракт стевії та β -глюкани у складі борошняної суміші), а також введення до рецептури порошку ягід журавлини, завдяки чому досягаються високі органолептичні характеристики і гармонійне поєднання всіх компонентів печива. Розроблена продукція за умови її впровадження у виробництво стане складовою діабетичного харчування, конче необхідного для значної частини населення України.

Література

1. Сімахіна Г. О. Нові виклики перед харчовою промисловістю України в стратегії поліпшення національного здоров'я. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. № 5. С. 197—206.
2. Здоровье — 2020: основы Европейской политики в поддержку действий всего государства и общества в интересах здоровья и благополучия. Мальта. 2012 (EUR/RCC 82/9).
3. Семашко Н. А. Прожитое и пережитое. Москва: Госполитиздат, 1960. 120 с.
4. Аксенова Л. М., Савенкова Т. В. Основные направления развития производства мучных кондитерских изделий. *Пищевые ингредиенты в производстве лучших кондитерских изделий*. Москва: ДеЛи ИМС. 2013. С. 14—33.
5. Полумбрик О. М., Литвяк В. В., Ловкис З. В., Ковбаса В. Н. Углеводы в пищевых продуктах: монография. Минск: ИВЦ Минфина, 2016. 592 с.
6. Wolever T.M.S. The glycaemic index: a physiological classification of dietary carbohydrate. 2010. Cabi Publishing: Cambridge. 240 p.
7. Brouns F., Bjorck I., Frayn K. N. et. al. Glycaemic index methodology. *Nutr. Res. Rev.* 2005. Vol. 18. P. 145—171.
8. Yoshikawa Y., Hirata R., Yasui H. et. al. Alpha-glucosidase inhibitory effect of anti-diabetic metal ions and their complexes. *Biochimie*. 2009. Vol. 91. P. 1339—1341.
9. Красина И. Б., Ходус Н. В. Разработка технологии мучных кондитерских изделий с использованием стевии. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2004. Деп. в ВИНТИ 01.10.2004. № 1555 — В 2004.
10. Резниченко И. Ю., Багаева А. В., Позняковский В. М. Сахаристые кондитерские изделия функционального назначения: состояние рынка, методологические аспекты. *Кондитерское производство*. 2004. № 2. С. 14—15.

11. Ларионова И. И. Солодовые экстракты в производстве кондитерских и хлебобулочных изделий. *Кондитерское и хлебопекарское производство*. 2004. № 9. С. 16—18.
12. Шарафетдинов Х. Х., Плотникова О. А. Современная стратегия лечебного питания при сахарном диабете типа 2. *Вопросы питания*. 2008. Т. 77, № 2. С. 23—31.
13. Филлипс Г. О., Вильямс П. А. Справочник по гидроколлоидам/пер. с англ., под. ред.: А. А. Кочетковой, Л. А. Сарафановой. Санкт-Петербург: ГИОРД. 2006. 536 с.
14. Черно Н. К., Шапкина К. І., Коваленко О. В. Спосіб отримання бета-глюкану клітинних стінок дріжджів роду *Saccharomyces cerevisiae*. *Прогресивна техніка та технологія харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. Харків, 2012. № 2. С. 321—326.
15. Полумбрик М. О. Пищевые продукты с низким гликемическим индексом в диетотерапии больных на ожирение. *Международ. эндокрин. журнал*. (Int. J.Endocrinol.). 2008. № 5. С. 81—83.
16. Behall K. M., Schoffield D. J., Hallfrisch J. Barley β -glucan reduces plasma glucose and insulin responses compared with resistant starch in men. *Nutr. Res*. 2006. Vol. 26. P. 644—650.

INVESTIGATION OF IMPACT OF THE PARTIAL HOP REPLACEMENT WITH UNCONVENTIONAL RAW ON RIPE BEER INDICATORS

Z. Romanova, N. Fedorova, O. Romanov

National University of Food Technologies

Key words:

Raw
Mash
Hop
Tarragon
Organoleptic indexes
Beer

Article history:

Received 24.03.2020
Received in revised form
07.04.2020
Accepted 21.04.2020

Corresponding author:

Z. Romanova

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article investigates the effect of partial replacement of hop with unconventional raw materials on the performance of finished beer. After analyzing the literary sources for the partial replacement of hop, bitter wormwood was selected. Optimal proportions of hop and wormwood are selected, which do not impair the organoleptic characteristics of the finished beer and do not change the content of polyphenols in the finished beer, which has a positive effect on colloidal stability and increases the shelf life of beer. The purpose of the study is the experimental and theoretical substantiation of partial replacement of hop with not traditional vegetable raw material — wormwood. To achieve this goal, the following tasks were formulated: to study the composition of bitter wormwood, which will be used as a partial substitute for hop; to choose the optimum amount and ratio of bitter wormwood for brewing; to determine the effect of partial replacement of hop with unconventional vegetable raw material — bitter wormwood on beer performance. The granulated hop used for beer production conform to DSTU 7028:2009. The appearance and transparency of the beer was determined in a glass, which was previously poured into it and viewed in transient light. The aroma and taste of beer were determined organoleptically, immediately after placing the sample at $(12.0 \pm 2.0)^\circ\text{C}$ to the tasting glass.

All physicochemical indicators for beer with the addition of the wormwood were determined with the use of Alcozyzer Beer analyzer, which is characterized by high accuracy of the obtained results. Experimental studies were carried out in the research laboratory of the Department of Fermentation and Winemaking of NUFT; the optimum ratio of hop and bitter wormwood which is 80:20% is established by experiment. This ratio has a positive effect on the organoleptic characteristics of the finished beer.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСТКОВОЇ ЗАМІНИ ХМЕЛЮ НЕТРАДИЦІЙНОЮ СИРОВИНОЮ НА ПОКАЗНИКИ ГОТОВОГО ПИВА

З. М. Романова, Н. В. Федорова, О. С. Романов

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вплив часткової заміни хмелю нетрадиційною сировиною на показники готового пива. У результаті аналізу літературних джерел для часткової заміни хмелю було обрано полин гіркий. Підібрано оптимальні пропорції хмелю та полину гіркого, які не погіршують органолептичні показники готового пива, а також не змінюють вміст поліфенолів у готовому пиві, що позитивно впливає на колоїдну стійкість і збільшує терміни зберігання нового сорту пива.

Метою дослідження є експериментальне і теоретичне обґрунтування часткової заміни хмелю нетрадиційною рослинною сировиною — полином гірким. Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання: вивчити склад полину гіркого, який використовуватиметься як частковий заміник хмелю; обрати оптимальну кількість і співвідношення полину гіркого для приготування пива; визначити вплив часткової заміни хмелю нетрадиційною рослинною сировиною — полином гірким на показники пива.

З'ясовано, що оптимальною кондицією для часткової заміни хмелю полином гірким є висушена рослина (листя і стебла), оскільки вона не потребує тривалої обробки та має оптимальні показники за вмістом гіркоти й поліфенолів. Визначено оптимальне співвідношення хмелю та полину гіркого, яке складає 80:20%. Таке співвідношення позитивно впливає на органолептичні показники готового пива. Встановлено, що при частковій заміні хмелю полином гірким більш ніж на 30% погіршуються органолептичні показники зразка пива. З'являється стійкий гіркий виражений полиновий післясмак. Часткова заміна хмелю полином гірким практично не змінює вміст поліфенолів у готовому пиві, що позитивно впливає на колоїдну стійкість і збільшує терміни зберігання нового сорту пива.

Ключові слова: сировина, сусло, хміль, полин гіркий, органолептичні показники, пиво.

Постановка проблеми. Для того, щоб встановити дослідним шляхом оптимальне співвідношення хмелю та полину гіркого, яке позитивно впливає на органолептичні показники готового пива, вивчався склад полину гіркого, що використовувався як частковий заміник хмелю. Хміль гранульований, який використовували для виробництва пива, відповідав ДСТУ 7028:2009. Аромат і смак пива визначали органолептично, одразу після вміщення проби за температури $(12,0 \pm 2,0)^\circ\text{C}$ у дегустаційний келих [4; 8]. Фізико-хімічні показники для пива з додаванням заміника хмелю — полину гіркого, визначали на аналізаторі пива AlcoLyzer Beer, який характеризується високою точністю отриманих результатів. Експериментальні дослідження проводились у науково-дослідній лабораторії кафедри продуктів бродіння і виноробства Національного університету харчових технологій.

Метою дослідження є експериментальне і теоретичне обґрунтування часткової заміни хмелю нетрадиційною рослинною сировиною — полином гірким.

Викладення основних результатів дослідження. Для приготування початкового суслу було обрано солод світлий і воду підготовлену. Приготування сула відбувалось за класичною технологією виготовлення пива. Отримане сусло з оптимальними показниками для пивоварного виробництва розділили на частини для подальших досліджень [1; 2].

Обирали хміль і його замітник для отримання пива з необхідними параметрами. Для вибору хмелю були обрані зразки вітчизняних виробників, зокрема Клон 18, Слов'янка, Промінь та Октава. Нормували хміль не тільки за вмістом α -кислот, а й з урахуванням оптимального використання поліфенолів, тобто комплексу всіх цінних речовин хмелю. Зважаючи на це, для виготовлення пива було обрано хміль Слов'янка [5; 6].

Частковим заміником хмелю обрано полин гіркий. Для вибору оптимальної кондиції полину гіркого проведені дослідження, результати яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Показники кондиції полину гіркого

| Стан рослини | Показники | | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------|---|
| | Наважка рослини, г | Об'єм екстрагента, дм ³ | Час настоювання, дні | Величина гіркоти, од ЕВС | Внесено поліфенолів, мг/дм ³ |
| Свіжа рослина, подрібнена | 1 | — | — | 34 | 78,4 |
| Висушена рослина, подрібнена | 1 | — | — | 35 | 83,1 |
| Екстракт спиртовий, 55% об. | 1 | 0,0025 | 5 | 36 | 84,4 |
| Екстракт водний | 1 | 0,0025 | 2 | 32 | 77,5 |

Для проведення експерименту обрано висушений полин гіркий (стебла та листя) (табл. 1), оскільки його додавання забезпечує збалансовані показники гіркоти та вмісту поліфенолів у суслі без витрати на дорогий екстрагент та час екстрагування [6; 7].

Підбиралась необхідна кількість хмелю та його замітника — полину гіркого для отримання необхідної гіркоти пива. В табл. 2 представлено кількість хмелю та його замітника, яку було обрано для внесення в сусло (пиво), включаючи і контрольний зразок [3; 7].

Таблиця 2. Підбір співвідношення хмелю та його замітника у зразках пива

| № Зразка | Кількість хмелю, внесеного в сусло, г/дм ³ | Кількість замітника хмелю, внесеного в сусло, г/дм ³ | Гіркота проєктованого пива, од ЕВС | Відсоткове співвідношення хмелю до замітника, % |
|--------------|---|---|------------------------------------|---|
| 1 (Контроль) | 0,5 | — | 15 | 100:0 |
| 2 | 0,36 | 0,08 | | 80:20 |
| 3 | 0,32 | 0,11 | | 70:30 |
| 4 | 0,25 | 0,2 | | 50:50 |

Проведено внесення розрахованої кількості хмелю та полину гіркокого в сусло в процесі його кип'ятіння. Хміль задавали однією порцією після 15 хв кипіння. Полин гіркий додавали за 15 хв до кінця кип'ятіння. Весь процес тривав 60 хв за однакових температурних режимів для всіх зразків за класичною схемою кип'ятіння. Параметри отриманих зразків суслу наведені в табл. 3.

На подальших етапах дослідження проводилось завершення приготування зразків пива — фільтрування суслу від хмелевої дробини, охолодження охмеленого суслу, внесення дріжджів, зброджування та дозрівання готового пива. Всі процеси проводились за класичною технологією приготування пива

Найбільш повну і комплексну оцінку якості пива як смакового продукту надають його органолептичні показники, що визначилися під час дегустації за допомогою органів чуття [2; 4]. Після визначення фізико-хімічних показників готового пива проведена закрита дегустація для отримання об'єктивної й узагальненої оцінки прозорості, кольору, смаку, аромату, хмелевої гіркоти, насиченості діоксидом вуглецю, піноутворення та піностійкості пива (табл. 4).

Таблиця 3. Параметри зразків досліджуваного суслу

| № зразка (відношення хміль:полин), % | Час кип'ятіння, хв | Вміст сухих речовин у суслі після кип'ятіння, % мас. | pH, од | Загальний азот, мг/дм ³ | Коагульований азот, мг/дм ³ | Вміст диметилсульфіду, мкг/дм ³ | Тіобарбітурове число, од ЕВС |
|--------------------------------------|--------------------|--|--------|------------------------------------|--|--|------------------------------|
| 1 (контроль) | 60 | 13,6 | 4,9 | 1098 | 20 | 66 | 43 |
| 2 (80:20) | | 13,8 | 5,06 | 1086 | 18 | 64 | 46 |
| 3 (70:30) | | 13,7 | 5,1 | 1093 | 19 | 65 | 45 |
| 4 (50:50) | | 13,5 | 5,21 | 1096 | 19 | 66 | 44 |

Таблиця 4. Органолептичні показники та балава оцінка зразків пива з додаванням замітника хмелю — полину гіркокого

| № зразка (хміль:полин) | Аромат (від 1 до 4) | Смак (від 1 до 5) | Прозорість (від 0 до 3) | Колір (від 0 до 3) | Гіркота (0 до 5) |
|------------------------|--|--|------------------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 (Контроль) | Відмінний, відповідає типу пива, чистий, яскраво виражений (4) | Відмінний, повний, чистий, без сторонніх присмаків, відповідає типу пива (5) | Прозоре з легкою опалесценцією (2) | Відповідає типу пива, що перебуває на мінімальному рівні, встановленому для цього типу пива (3) | Чисто хмелева, гармонійна (5) |
| 2 (80:20) | Добрий аромат, що відповідає цьому типу пива (3) | Відмінний, повний, чистий, без сторонніх присмаків, відповідає типу пива (5) | Прозоре з легкою опалесценцією (2) | Відповідає типу пива, що перебуває на мінімальному рівні, встановленому для цього типу пива (3) | М'яка, гармонійна, залишкова, не зовсім згладжена (4) |

Продовження таблиці 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|--|---|------------------------------------|---|---|
| 3 (70:30) | Добрий аромат, що відповідає цьому типу пива (3) | Добрий, чистий, недостатньо виражений (4) | Прозоре з легкою опалесценцією (2) | Відповідає типу пива, що перебуває на мінімальному рівні, встановленому для цього типу пива (3) | М'яка, гармонійна, залишкова, не зовсім згладжена (3) |
| 4 (50:50) | Добрий аромат, що відповідає цьому типу пива (3) | Не зовсім чистий, задовільний (3) | Прозоре з легкою опалесценцією (2) | Відповідає типу пива, що перебуває на мінімальному рівні, встановленому для цього типу пива (3) | Грубувата, залишкова, не зовсім згладжена (2) |

Таблиця 5. Фізико-хімічні показники зразків пива з додаванням замітника хмелю — полину гіркого

| | 1 (контроль) | 2 (80:20) | 3 (70:30) | 4 (50:50) |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|
| рН, од | 4,63 | 4,65 | 4,64 | 4,68 |
| Екстракт, % мас | | | | |
| видимий | 2,45 | 2,47 | 2,48 | 2,43 |
| дійсний | 4,12 | 4,18 | 4,20 | 4,13 |
| Вміст СР у початковому суслі, % мас. | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 |
| Вміст спирту | | | | |
| % мас | 3,62 | 3,59 | 3,60 | 3,64 |
| % об | 4,58 | 4,63 | 4,64 | 4,69 |
| Колір, ЕВС | 12,97 | 12,83 | 12,94 | 12,23 |
| Дійсний ступінь зброджування, % | 65,20 | 65,12 | 65,10 | 65,14 |
| Вміст CO ₂ , г/дм ³ | 1,52 | 1,51 | 1,52 | 1,53 |
| Гіркота, ЕВС | 15,4 | 15,4 | 15,3 | 15,3 |
| Внесено поліфенолів, мг/дм ³ | 30,89 | 28,88 | 28,9 | 32,06 |

Як бачимо, найкращий результат порівняно з контрольним зразком (зразок 1) має зразок 2 (відношення хмелю до полину — 80:20). Зразок 4 (відношення хмелю до полину — 50:50) показав найгірші органолептичні показники. Це свідчить про те, що зі збільшенням відсоткової частки полину погіршуються органолептичні властивості готового пива.

Отже, при частковій заміні хмелю полином гірким більше ніж на 30% погіршується смак пива. З'являється виражений полиновий післясмак, стійкий гіркий. Часткова заміна хмелю полином гірким практично не змінює вміст поліфенолів у готовому пиві.

Висновки

Отже, оптимальною кондицією для часткової заміни хмелю полином гірким є висушена рослина (листя і стебла), оскільки вона не потребує тривалої обробки

та має оптимальні показники за вмістом гіркоти й поліфенолів. Встановлено дослідним шляхом оптимальне співвідношення хмелю та полину гіркого, яке складає 80:20%. Таке співвідношення позитивно впливає на органолептичні показники готового пива. Встановлено, що при частковій заміні хмелю полином гірким більш ніж на 30% погіршуються органолептичні показники зразка пива. З'являється полиновий післясмак. Часткова заміна хмелю полином гірким практично не змінює вміст поліфенолів у готовому пиві, що позитивно впливає на колоїдну стійкість і збільшує терміни зберігання нового сорту пива.

Література

1. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива: пер. з нем. СПб.: Профессия, 2009. 1100 с.
2. Меледина Т. В., Дедегкаев А. Т. Коллоидная стойкость пива. Учебн. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 90 с.
3. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. Пер. с нем. А. А. Куреленкова. СПб.: Профессия, 2007. 640 с.
4. Пиво. Загальні технічні умови: ДСТУ 3888:2015. [Чинний від 2015-05-28]. К.: Держспоживстандарт України, 2015 р. 17 с. (Національний стандарт України).
5. Рослинництво. Гранули хмелю. Технічні умови: ДСТУ 7028:2009. [Чинний від 2009-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2015 р. 24 с. (Національний стандарт України).
6. Романова З. М., Ашмаріна Г. Р. Авторське пиво і тенденції розвитку в Україні. Обеспечение продовольственной безопасности и качества продуктов первой необходимости в условиях деятельности Республики Таджикистан во Всемирной торговой организации и Таможенного союза: материалы республиканской научно-практической конференции. 28 мая 2016 г. Душанбе, 2016.
7. Ермолаева Г. А., Колчева Р. А. Технология и оборудования производства пива и безалкогольных напитков. М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2004. С. 416
8. Kosiv Ruslana, Kharandiuk Tetiana, Polyuzhyn Lyubov, Palianytsia Liubov, Berezovska Natalia. Optimization of main fermentation of high-gravity wort. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. Volume 10, number 3. P. 349—353.

MODIFIED FATS: OXIDATIVE STABILITY AND DETERMINATION OF WAYS OF APPLICATION IN FOOD PRODUCTS

O. Udovenko, F. Gladkiy, O. Litvinenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”

K. Kunitsia

Kharkov Trade and Economic Institute of Kiev National Trade and Economic University

N. Sytnik

Ukrainian Research Institute of Oils and Fats of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Key words:

*Modification
Fat
Oxidation
Bakery products
Stability*

Article history:

Received 18.03.2020
Received in revised form
01.04.2020
Accepted 15.04.2020

Corresponding author:

N. Sytnik

E-mail:

ntlstytnik@gmail.com

ABSTRACT

Studies have been conducted to determine the oxidative stability of modified fats and their usage as a component of food. It is established that the modified fat products according to TU U 20.5-1225000194-001:2019 “Modified vegetable confectionery fats, culinary, bakery fats and fats for the dairy industry” exhibit sufficient thermal resistance to oxidation in comparison with traditional fat raw materials, refined, deodorized sunflower oil. Fat for dairy products has 1.8 times longer induction time compared to refined, deodorized sunflower oil, and 1.2 times longer for fat samples for culinary, dairy and baking fat. The possibility of using a new type of fats for special purpose as a fat component for bakery products has been identified. The made baked goods meet the requirements of DSTU-P 4587 and in terms of quality indicators do not concede to baked goods with traditional fatty raw materials, and in some indicators exceeding them. Oxidation resistance of fat systems was determined by the method of accelerated oxidation on the “Ransimat” tool (which allows to study in real time the stability of raw materials and various foodstuffs to oxidation — that is, oxidative stability) by the indicator “induction time”, the value of which is inversely dependent on intensity of oxidation processes. Methods of control the quality of the bakery products were carried out in accordance with DSTU-P 4585:2006 “Bakery products. General specifications”, which applies to bakery products which are designed and manufactured in a mechanized or manual manner and delivered to the consumer and with DSTU 7045:2009 “Bakery products. Methods for determining physicochemical parameters.”

МОДИФІКОВАНІ ЖИРИ: ОКИСНЮВАЛЬНА СТАБІЛЬНІСТЬ І ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ЗАСТОСУВАННЯ У СКЛАДІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

О. О. Удовенко, Ф. Ф. Гладкий, О. А. Литвиненко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

К. В. Куниця

Харківський торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету

Н. С. Ситнік

Український науково-дослідний інститут олій та жирів Національної академії аграрних наук України

У статті визначено окиснювальну стабільність модифікованих жирів і шляхи застосування їх як компонента харчових продуктів. Встановлено, що модифіковані жирові продукти за ТУ У 20.5-1225000194-001:2019 «Жири модифіковані рослинні кондитерські, кулінарні, хлібопекарські та для молочної промисловості» виявляють достатню термічну стійкість до окислення порівняно з традиційною жирною сировиною, з рафінованою, дезодорованою соняшниковою олією. Жир для молочних продуктів має у 1,8 рази довший час індукції порівняно з рафінованою, дезодорованою соняшниковою олією, і у 1,2 рази довший для зразків жиру кулінарного призначення і молочних продуктів та жиру хлібопекарського призначення.

Виявлено можливість застосування нового типу жирів спеціального призначення як жирового компонента для хлібобулочних виробів. Вироблені булочки відповідають вимогам ДСТУ-П 4587 та за показниками якості не поступаються булочним виробам з традиційною жирною сировиною, а за деякими показниками перевищують їх. Стійкість до окислення жирових систем визначали методом прискореного окислення на приладі «Рансимат» (який дає змогу в режимі реального часу вивчати стійкість сировини і різних харчових продуктів до окиснення, тобто окиснювальну стабільність) за показником «час індукції», значення якого знаходиться в зворотній залежності від інтенсивності окислювальних процесів. Методи контролювання показники якості хлібобулочних виробів здійснювали відповідно до ДСТУ-П 4585:2006 «Вироби хлібобулочні здобні. Загальні технічні умови», що поширюється на вироби хлібобулочні здобні, які розробляють та виготовляють механізованим або ручним способом і постачають споживачу, та ДСТУ 7045:2009 «Вироби хлібобулочні. Методи визначання фізико-хімічних показників».

Ключові слова: модифікація, жири, окиснення, хлібобулочні вироби, стабільність.

Постановка проблеми. Вже багато років існує проблема псування олій і жирів під час контакту з киснем, при якому вони втрачають корисні властивості. Окиснення ліпідів — це складна проблема зберігання жирів і олій та продуктів, які містять ліпіди, що прискорюється при підвищенні температури зберігання або обробки. До жирів і олій, які при виробництві продуктів піддаються термічній обробці, висуваються особливі вимоги, зокрема до їх окислювальної стабільності. Стабільність жирів до окиснення при високих температурах залежить від ряду причин: вмісту поліненасичених жирних кислот і ступеня їх ненасиченості, вмісту токоферолів і їх складу та кількості компонентів, що мають антиоксидантні властивості або підсилюють дію токоферолів шляхом синергетичного ефекту (наприклад, фосфоліпіди і токофероли тощо) [1; 2].

Досить часто як рідкий рослинний жир для кулінарної обробки використовують соняшникову та соєву олії. При цьому їх нестійкість до окислювального псування внаслідок наявності високого вмісту поліненасичених жирних кислот знижує сфери застосування, зменшує терміни зберігання отриманої продукції.

У той же час досить стабільні при кулінарній обробці (обсмажуванні у фритюрі) олії з високим вмістом насичених жирних кислот. Відомо, що олеїнова кислота стабільніша до впливу високих температур, ніж поліненасичені жирні кислоти, і починає окислюватися при температурі вище 100°C. Тобто можна припустити, що олії з підвищеним вмістом олеїнової кислоти будуть більш стабільні при високих температурах. Таким жиром є тропічна сировина (пальмова олія, олеїн, стеарин), яку широко використовують як кулінарний жир, але сферу її застосування обмежує відносно висока температура плавлення [3—5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [6] вказують на те, що одним із перспективних напрямків у виробництві функціональних жирів є створення сумішей із двох або декількох олій, що відрізняються за своїм жирнокислотним складом і наявністю окремих нутрієнтів. Відомо, що співвідношення ненасичених жирних кислот до насичених жирних кислот (PUFA/SFA) впливає на окислювальну стабільність всієї суміші. Чим нижче співвідношення PUFA/SFA, тим вища окислювальна стабільність. Крім цього, окислювальна стабільність мононенасичених жирних кислот значно вища за окислювальну стабільність поліненасичених жирних кислот. При цьому слід пам'ятати, що високе споживання насичених жирних кислот небажане, оскільки асоціюється з ризиком розвитку серцево-судинних захворювань. Згідно з рекомендаціями Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН, співвідношення насичених, мононенасичених і поліненасичених жирних кислот в раціоні людини має становити 1:1:1 [6]. Тому переважна більшість досліджень спрямована на створення сумішей різних олій із співвідношенням PUFA/MUFA/SFA, близьким до ідеального за своєю окислювальною стабільністю і за впливом на здоров'я людини.

Для створення жирів спеціального призначення в промисловості широко застосовується метод переетерифікації. При цьому слід пам'ятати про те, що на окислювальну стабільність суміші, крім ступеня ненасиченості, великий вплив має позиція ненасичених жирних кислот у триацилгліцеридах (ТАГ). Переетерифікація може привести до перерозподілу поліненасичених жирних кислот із

другої позиції (Sp2) в перше або третє положення (Sp 1,3) і знизити окислювальну стабільність жирових сумішей [7].

Більш того, особлива увага в створенні жирових сумішей приділяється вмісту таких компонентів, як токофероли, токотрієноли, фітостероли тощо. Результати наукових досліджень вказують на те, що ці компоненти позитивно впливають на функціональні властивості кінцевого продукту. Доведено, що збагачення раціону людини натуральними фітостеролами знижує рівень холестерину в плазмі крові і, як наслідок, смертність від серцево-судинних захворювань. Фітостероли додають в харчові продукти, наприклад, маргарини, як функціональні компоненти [6]. Токофероли є природними антиоксидантами, які приблизно в 250 разів ефективніші, ніж ВНТ. Їхня висока активність заснована на здатності перетворюватися з окисленої форми в активну [8]. Антиокислювальна активність ізомерів токоферолів знижується в такому порядку: $\gamma > \delta > \beta > \alpha$ [8]. Ще більш сильним антиоксидантом є токотрієноли, які мають високий потенціал у запобіганні розвитку деяких онкологічних захворювань [9] і як антиостеопоротичний агент [10]. У промисловості широко застосовуються різні антиоксиданти. Крім природних токоферолів і токотрієнолів, можна виділити натуральний екстракт зеленого чаю, бутилгідроксіанізол (E320), бутилгідрокситолуол (E321), трет-бутилгідрохінон (E319). Але, оскільки серед наукової спільноти ведуться активні дебати про зв'язок деяких антиоксидантів з ризиком розвитку раку, перевага, незважаючи на більш високу ціну, надається природним антиоксидантам.

Огляд джерел науково-технічної літератури дає змогу зробити висновок, що завдання сучасної олійножирової промисловості полягає в тому, щоб створювати жири спеціального призначення відповідно до рекомендацій ВООЗ і вимог харчової промисловості. Мета може бути досягнута шляхом створення сумішей з низьким вмістом поліненасичених жирних кислот, що не містять трансізомерів жирних кислот, негативний вплив яких на здоров'я людини було давно доведено численними дослідженнями. Крім цього, основний акцент має бути зроблено на створення сумішей, що мають високу окисну стабільність і збагачені корисними нутрієнтами.

Метою статті є визначення окиснювальної стабільності модифікованих жирів і визначення шляхів застосування їх як компонента харчових продуктів.

Викладення основних результатів дослідження. На попередньому етапі дослідження [11] шляхом ферментативного етанолізу одержано жирові системи, які містять етилові ефіри жирних кислот і похідні ацилгліцеринів. Оскільки жирові системи мають змінений склад, необхідно дослідити окислювальну стабільність одержаних жирів і встановити термін їх придатності до споживання.

Стійкість до окислення жирових систем визначали методом прискореного окислення на приладі «Рансимат» (який дає змогу в режимі реального часу вивчати стійкість сировини і різних харчових продуктів до окиснення, тобто окиснювальну стабільність) за показником «час індукції», значення якого знаходиться в зворотній залежності від інтенсивності окислювальних процесів. Температура дослідження — 120°C.

На попередньому етапі дослідження [11] було одержано жири спеціального призначення:

- після 5 год реакції — жир для молочних продуктів (зразок 1);
- після 6 год — жир кулінарний і для молочних продуктів (зразок 2);
- після 13 год — жир хлібопекарського призначення (зразок 3).

Результати дослідження наведено на рис. 1—3.

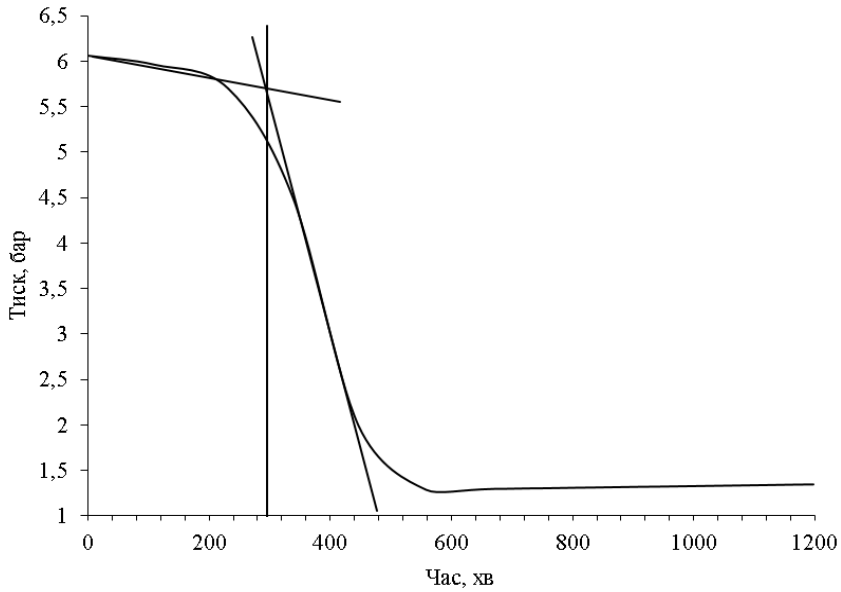


Рис. 1. Результати дослідження окислювальної стабільності зразка 1

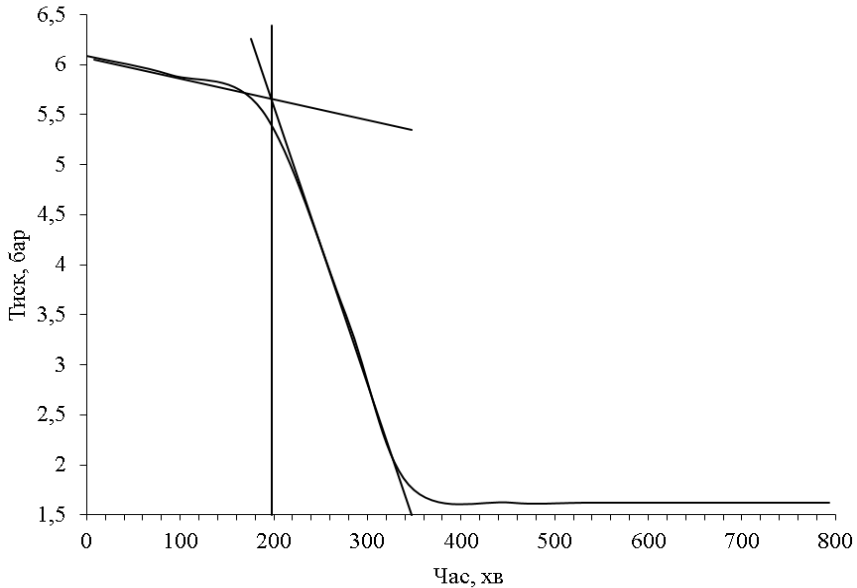


Рис. 2. Результати дослідження окислювальної стабільності зразка 2

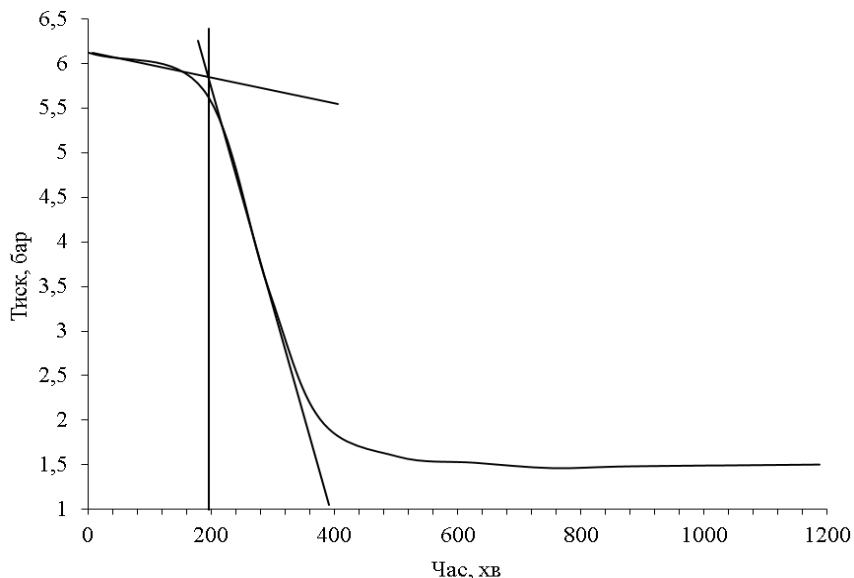


Рис. 3. Результати дослідження окислювальної стабільності зразка 3

Встановлено, що час індукції для зразків 1—3 складає 296, 198 та 196 хв відповідно.

Для оцінки окислювальної стабільності одержаних жирів у тих же умовах проаналізовано на окислювальну стабільність рафіновану, дезодоровану соняшникову олію. Результати дослідження наведено на рис. 4. Встановлено, що час індукції для рафінованої, дезодорованої соняшникової олії становить 163 хв.

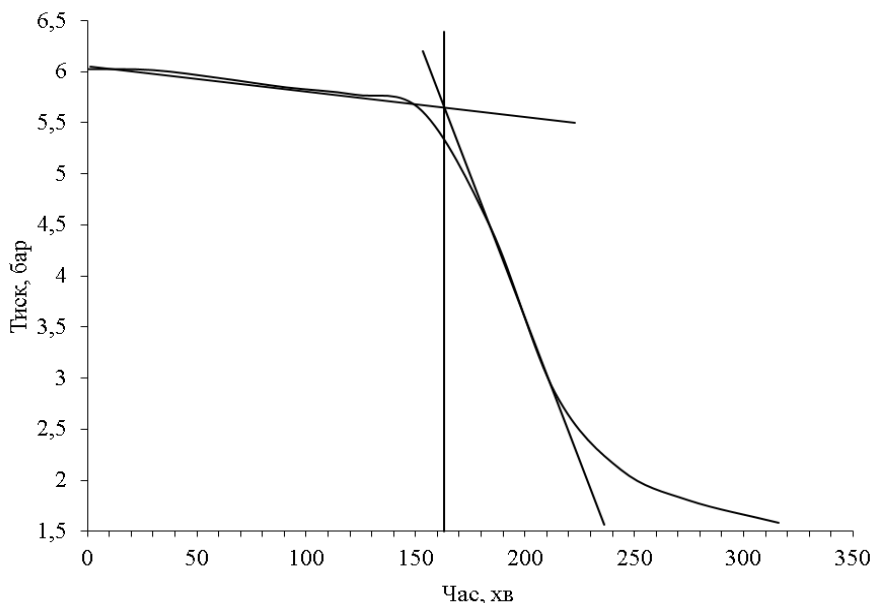


Рис. 4. Результати дослідження окислювальної стабільності рафінованої, дезодорованої соняшникової олії

Одержані жирові продукти виявляють достатню термічну стійкість до окислення порівняно з рафінованою, дезодорованою соняшниковою олією. Зразок 1 (жир для молочних продуктів) має у 1,8 раза довший час індукції порівняно з рафінованою, дезодорованою соняшниковою олією, і у 1,2 раза довший для зразків 2 і 3.

Шляхом ферментативного етанолізу [11] одержано експериментальні зразки жирових систем, які містять етилові ефіри жирних кислот та похідні ацилгліцеринів. Оскільки склад жирових систем відрізняється від традиційного, необхідно встановити ефективність їх використання в складі харчових продуктів. Відповідно до нормативного документа на жири спеціального призначення ДСТУ 4335:2004 одержані жирові системи було кваліфіковано як жири кулінарні, хлібопекарські та для молочних продуктів.

Подальші дослідження було спрямовано на визначення ефективності застосування одержаної жирової сировини для виробництва хлібобулочної продукції.

Хлібобулочні вироби є одними з найважливіших продуктів харчування. За рахунок споживання хліба задовольняється приблизно 30% потреби людини в калоріях, більш ніж наполовину — у вітамінах групи «В», солях фосфору і заліза, вуглеводах і на третину — в білках. Хліб добре засвоюється організмом людини, що пов'язано з особливостями його хімічного складу. Харчова цінність хлібобулочних виробів визначається передусім калорійністю і якістю їх компонентів. Асортимент хлібобулочних виробів нараховує більше тисячі найменувань і відрізняється як за складом борошна, що застосовується, так і за компонентами, що входять у рецептуру і надають хлібу профілактичних, дієтичних та інших властивостей [12].

Хоча в рецептурі хліба жир складає невелику частку, він є одним з найбільш важливих у функціональному відношенні інгредієнтів, оскільки впливає на заміс тіста, його обробку, розстойку, об'єм виробу, а також смакові властивості і на термін зберігання хліба. Жири підвищують харчову цінність хліба і покращують його смак. У хлібопекарському виробництві використовують такі жирові компоненти: масло коров'яче, маргарин, олія [13]. Також відоме застосування спеціальних видів жирів (рідкий жир для хлібопекарної промисловості, жир з фосфатидами, рідкий жир на основі переетерифікованих жирів тощо). Ці жири відрізняються співвідношенням твердих і рідких жирових компонентів. Рідкий хлібопекарний жир являє собою композицію із суміші рослинної олії, твердого жиру (саломас), емульгатора та інших компонентів [14].

Усі вищенаведені види жирів, так чи інакше, містять у своєму складі саломас, що отримують шляхом гідрогенізації. Саломас марки М-4, що застосовують для виробництва хлібопекарських жирів, містить 75—90% ненасичених жирних кислот, з яких до 30% жирних кислот можуть бути трансізомерами [15]. Виробництво саломасу марки М-6, тобто повністю гідрогенізованого жиру, що не містить ненасичених жирних кислот, в тому числі трансізомерів, в Україні відсутнє.

Для виробництва хліба за традиційними технологіями можна ефективно застосовувати більшість видів пластичних жирів як тваринного, так і рослинного

походження. Однак увага до питання здорового харчування, що загострилася останнім часом, зокрема до кількості холестерину і насичених жирних кислот в раціоні харчування, призвела до надання переваги споживачами жирам тільки рослинного походження. Нині виробники висувають вимоги не тільки до фізико-хімічних характеристик, але й до збалансованості за жирнокислотним складом, вмістом трансізомерів і насичених жирних кислот, а також тривалості індукційного періоду накопичення пероксидів у жировій сировині. Важливим критерієм безпечності жирів є вміст трансізомерів. Однією з актуальних тенденцій розвитку харчових галузей провідних країн світу є розробка і використання жирів з мінімальною кількістю трансізомерів. Низкою держав на законодавчому рівні вжито заходи щодо обмеження вмісту трансізомерів у жирах промислового виробництва.

Тож необхідно здійснювати пошук нових джерел спеціальних жирів без трансізомерів із використанням вітчизняної сировини. Попередніми дослідженнями було визначено, що шляхом алкохолізу можна одержати модифіковану жирову сировину — жир хлібопекарського призначення, тому подальші дослідження було спрямовано на визначення ефективності застосування її як жирової сировини для виробництва хлібобулочної продукції, що може стати перспективним джерелом спеціального жиру без промислових трансізомерів.

Оскільки в Україні загалом та, зокрема, у Харківському регіоні найбільшим попитом серед хлібобулочної продукції користується батони нарізні з пшеничного борошна вищого гатунку, цей хлібобулочний виріб було обрано для заміни жирової сировини у рецептурному складі. Основною жировою сировиною для виготовлення хлібобулочних виробів є тверді жири, в основному маргарин, який не має необхідних технологічних властивостей. Водночас модифікація пальмового стеарину як сировини для виробництва могла б посприяти створенню нових видів жирів із заданими технологічними властивостями для хлібопекарської галузі.

Хлібопекарський жир у своєму складі повинен містити певну кількість твердої фази з температурою плавлення вище 20°C, вплив якої покращує структурно-механічні властивості тіста в початковий період випічки.

Рецептуру батона, за якою виготовляли булочні вироби, наведено в табл. 1 [16]. Для встановлення впливу жирової сировини на показники якості проводили пробні випічки булочних виробів із пшеничного борошна вищого гатунку. Контрольним зразком, з яким проводили порівняння показників якості, був виріб, виготовлений із застосуванням столового маргарину (рецептура 1), який є традиційною жировою сировиною у складі батона. В дослідному зразку маргарин було замінено на новий тип жиру хлібопекарського призначення [17], отриманий шляхом ферментативного етанолізу (рецептура 2) з урахуванням масової частки вологи жирових компонентів.

Розрахунок кількості води здійснювали згідно з ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба», що залежить від вологості борошна.

Тісто для булочних виробів готували безопарним методом. Жирову сировину вносили при замісі тіста. Всі вироби виготовляли за технологічними режимами згідно із затвердженою технологічною інструкцією.

Таблиця 1. Рецептурний склад батона

| Найменування сировини | Витрата сировини на 100 кг борошна, кг | |
|----------------------------------|--|--------|
| | | |
| Борошно пшеничне вищого гатунку | 100,00 | 100,00 |
| Дріжджі | 1,00 | 1,00 |
| Сіль | 1,50 | 1,50 |
| Цукор | 6,00 | 6,00 |
| Маргарин | 3,50 | — |
| Жир хлібопекарського призначення | — | 2,87 |
| Олія рослинна | 0,15 | 0,15 |

Відповідно до ДСТУ 4582:2006 «Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Хліб та хлібобулочні вироби. Основні положення» для характеристики готового хлібобулочного виробу проводять оцінку таких показників якості: маси виробу (в кг), органолептичних і фізико-хімічних показників, норми яких повинні відповідати ДСТУ-П 4587:2006 «Вироби булочні. Загальні технічні умови». Органолептичні та фізико-хімічні показники булочних виробів (з новим типом жиру хлібопекарського призначення) та контрольного зразка (з використанням маргарину) порівняно з вимогами ДСТУ-П 4587:2006 «Вироби булочні. Загальні технічні умови» наведено у табл. 2. З отриманих даних можна зробити висновок, що булочні вироби, які містять модифіковану жирову сировину, відповідають вимогам ДСТУ-П 4587:2006 та за показниками якості не поступаються булочним виробам з традиційної сировини. Перевагою застосування цього виду жиру є також той факт, що технологічний процес виготовлення виробів при його застосуванні не змінюється.

Випробування модифікованої жирової сировини як жирового компонента для виробництва булочної продукції підтвердили принципову можливість і доцільність його використання в хлібопекарській галузі харчової промисловості.

Таблиця 2. Органолептичні та фізико-хімічні показники булочних виробів

| Назва показника | Характеристика | | |
|-----------------|--|---------------------------------|-----------------------------|
| | Показники згідно з ДСТУ-П 4587:2006 | Контрольний зразок | Дослідний зразок |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Форма | Відповідає формі, в якій проводили випікання, без бокових впливів | + | + |
| Поверхня | Відповідає виду виробу, гладка, без крупних тріщин і підривів, без забруднення | + | + |
| Колір | Від світло-жовтого до темно-коричневого, без підгорілості | Світло-жовтий, без підгорілості | Золотавий, без підгорілості |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|---|--------------------------|-----------------------------|
| Стан м'якушки: - пропеченість - проміс - пористість | - пропечена, еластична, не волога на дотик - без грудочок та слідів непромису - розвинута, без пустот та ущільнень | крихка + + | еластична + + |
| Смак | Властивий цьому виду виробів, без стороннього присмаку | + | + |
| Запах | Властивий цьому виду виробів, без стороннього запаху | + | + |
| Вологість м'якушки, %, не більше ніж | 32,0—41,5 | 36,7 | 36,2 |
| Кислотність м'якушки, град, не більше ніж | 3,0 | 1,4 | 1,3 |
| Пористість м'якушки, %, не менше ніж | 68,0 | 81,4 | 77,5 |

Відсутність у її складі промислових трансізомерів мононенасичених жирних кислот свідчить про його безпечність порівняно з іншими жировими продуктами, що застосовуються в хлібопеченні.

Висновки

1. Встановлено, що модифіковані жирові продукти за ТУ У 20.5-1225000194-001:2019 «Жири модифіковані рослинні кондитерські, кулінарні, хлібопекарські та для молочної промисловості» виявляють достатню термічну стійкість до окислення порівняно з традиційною жировою сировиною.

2. Виявлено можливість застосування нового типу жирів спеціального призначення як жирового компоненту для хлібобулочних виробів. Вироблені булочні вироби відповідають вимогам ДСТУ-П 4587 та за показниками якості не поступаються булочним виробам з традиційною жировою сировиною, а за деякими показниками перевищують їх.

Література

1. Мамонтов А. С. Исследование процессов окисления растительных масел при транспортировке и хранении. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2014. № 3, С. 136—140.
2. Мазалова Л. М. Качество фритюрного жира как залог безопасности продукции. *Пищевая промышленность*. 2006. № 3. С. 50—53.
3. Самойлов А. В., Дубцова Г. Н., Дебова И. А., Кусова И. У., Байков В. Г. Исследование фритюрных жиров в жарке мучных изделий. *Масла и жиры*. 2014. № 9—10. С. 36—39.
4. Kerrihard Adrian L., Nagy K., Craft Brian D., Beggio Maurizio Pegg Ronald B. Oxidative Stability of Commodity Fats and Oils: Modeling Based on Fatty Acid Composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2015. V. 92, Issue 8. P. 1153—116. doi: 10.1007/s11746-015-2686-4.
5. Tarmizi Azmil Haizam Ahmad, Razali Ismail Comparison of the Frying Stability of Standard Palm Olein and Special Quality Palm Olein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2008. V. 85, Issue 3. P. 245—251. doi: 10.1007/s11746-007-1184-8.

6. Rudzińska Magdalena, Hassanein Minar M. M., Adel G. Abdel-Razek, Ratusz Katarzyna, Siger Aleksander Blends of rapeseed oil with black cumin and rice bran oils for increasing the oxidative stability. *J Food Sci Technol*. 2016. 53 (2). 1055—1062. doi: 10.1007/s13197-015-2140-5.
7. Wang T., Jiang Y., Hammond E. Effect of randomization on the oxidative stability of corn oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2005. 82 (2), 111—117. 10.1007/s11746-005-1051-z.
8. Przybylski R., Eskin N.A.M., Mag T., McDonald B. Canola Rapeseed oil. In: Shahidi F, editor. *Bailey's industrial oil and fat products*. 6. New York: Wiley. 2005. pp. 61—121.
9. Miyazawa T., Shibata A., Sookwong P., Kawakami Y., Eitsuka T., Asai A., Oikawa S., Nakagawa K. Antiangiogenic and anticancer potential of unsaturated vitamin E (tocotrienol). *J Nutr Biochem*. 2009, 20 (2). 79—86.
10. Chin K. Y., Mo H., Soelaiman I. N. *Curr Drug Targets*. A review of the possible mechanisms of action of tocotrienol — a potential antiosteoporotic agent. 2013. 14 (13). 1533—41.
11. Kunitsa K., Udovenko O., Litvinenko E., Gladkiy F., Levchuk I. Technology of specialty fats based on palm stearin. *Eastern- European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3/11 (81). P. 27—33.
12. Скурихин И. И., Нечаев А. П. Все о пище с точки зрения химика : справ. издание. М.: Высшая школа, 1991. 288 с.
13. Черевко О. І., Крайнюк Л. М., Касілова Л. О. та ін.; за заг. ред. Л. М. Крайнюк *Методи контролю якості харчової продукції: навч. посіб.* Харківський державний університет харчування та торгівлі, СНАУ. Суми: Університетська книга, 2012. 512 с.
14. *Збірник рецептур. Маргарини, жири кондитерські, хлібопекарські, кулінарні та для молочної промисловості, саломаси.* ЗР 2560944.010-2003. Харків: УкрНДІОЖ, 2003. 49 с.
15. *Саломаси нерафіновані та рафіновані. Технічні умови: ДСТУ 5040:2008.* [Чинний від 2009-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 20 с. (Національні стандарти України).
16. Ершов П. С. *Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия.* СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. 191 с.
17. *Гладкий Ф. Ф., Литвиненко О. А., Гаврюшенко К. О., Удовенко О. О. ТУ У 20.5-1225000194-001:2019 «Жири модифіковані рослинні кондитерські, кулінарні, хлібопекарські та для молочної промисловості».* 2019. 27 с.

PROBLEMS OF CONFECTIONERY PRODUCTS DEVELOPMENT FOR PATIENTS WITH PHENYLKETONURIA

V. Dorokhovych, M. Hrytsevich

National University of Food Technologies

I. Loza

Sumy Food Industry College of NUFT

Key words:

Phenylalanine
Phenylketonuria
Low-protein diet
Low-protein products
Low-protein cookies

Article history:

Received 03.03.2020
Received in revised form
19.03.2020
Accepted 03.04.2020

Corresponding author:

M. Hrytsevich
E-mail:
m.gricevich@gmail.com

ABSTRACT

The article describes the problems of low-protein products developing for patients with phenylketonuria. Information regarding the incidence of phenylketonuria morbidity, the main symptoms and the allowable daily amount of phenylalanine for children of different age groups is provided.

The composition of popular traditional confectionery products is analyzed, the protein and phenylalanine content of these products is calculated, as well as the ingredient composition of low-protein “flour” confectionery products of foreign production is compared to traditional confectionery products. The content of protein and phenylalanine per 100 g of raw material is given, and a conclusion is made on the advisability of their use in the development of low-protein cookies. A complex of researches was conducted with the aim of finding raw material components that will be able to provide the dough with necessary structural properties. It was decided to add starch syrup in large quantities in the recipe (replacement of 50% of sugar). Applesauce was also added to the composition of low protein cookies. On the basis of the researches, cookies formulations for patients with feylketonuria have been developed with calculated phenylalanine content of 41.5 mg and 49.8 mg per 100 g of product.

Subsequently, work on the development of low-protein biscuits was continued in the direction of the use of structure-forming agents: carboxymethylcellulose (CMC) and guar gum. Studies of the rational content of CMC and guar gum have shown that it is advisable to use them in amounts of 0.88% and 0.35%, respectively. The composition of such products contained a high content of starch syrup. Estimated content of phenylalanine in the developed cookies is 29 mg per 100 g of product. The direction of further research is established.

Recent research on the need for vitamins and minerals for patients with phenylketonuria has been analyzed. It is concluded that low protein products for patients with phenylketonuria should be enriched with vitamin D. The daily requirement for most vitamins and minerals is covered by the consumption of phenylalanine-free amino acid mixtures.

ПРОБЛЕМАТИКА РОЗРОБЛЕННЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ ДЛЯ ХВОРИХ НА ФЕНІЛКЕТОНУРІЮ

В. В. Дорохович, М. Ю. Грицевіч

Національний університет харчових технологій

І. П. Лоза

Сумський коледж харчової промисловості НУХТ

У статті описано проблематику розроблення низькобілкових виробів для хворих на фенілкетонурію. Наведено інформація про частоту захворюваності на фенілкетонурію, основні симптоми та припустиму добову кількість феніلالаніну для дітей різних вікових груп.

Проаналізовано склад популярних традиційних кондитерських виробів, розраховано вміст білка та феніلالаніну у цих виробках і порівняно інгредієнтний склад низькобілкових «борошняних» кондитерських виробів зарубіжного виробництва з традиційними кондитерськими виробами. Визначено вміст білка та феніلالаніну в 100 г сировини та зроблено висновок щодо доцільності її використання під час розроблення низькобілкового печива. Проведено комплекс досліджень з метою пошуку сировинних компонентів, які зможуть надати тісту необхідних структурних властивостей. Вирішено до складу рецептур вводити крохмальну патоку у великій кількості (заміна 50% цукру). До рецептурного складу низькобілкового печива також вводили яблучне пюре. На основі проведених досліджень розроблено рецептури печива для хворих на фенілкетонурію, розрахунковий вміст феніلالаніну у яких 41,5 мг і 49,8 мг на 100 г виробу.

Розроблення низькобілкового печива було продовжено у напрямі застосування структуроутворювачів: карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та камеді гуару. Дослідження з визначення раціонального вмісту КМЦ та камеді гуару показали, що їх доцільно застосовувати у кількості 0,88% та 0,35% відповідно. В рецептурному складі таких виробів також був великий вміст патоки. Розрахунковий вміст феніلالаніну у розробленому печиві складає 29 мг на 100 г виробу. Визначено напрямки подальших досліджень.

Проаналізовано дані останніх досліджень стосовно потреби у хворих на фенілкетонурію вітамінів і мінералів. Зроблено висновок, що низькобілкові продукти для хворих на фенілкетонурію доцільно збагачувати вітаміном D. Добова потреба в більшості вітамінів і мінералів покривається за рахунок споживання амінокислотних сумішей, що не містять феніلالаніну.

Ключові слова: феніلالанін, фенілкетонурія, низькобілкова дієта, низькобілкові вироби, низькобілкове печиво.

Постановка проблеми. В останні роки на світовому ринку нових технологій і харчових продуктів визначилася тенденція до збільшення кількості якісно нових продуктів, призначених для запобігання різним захворюванням, харчування осіб з особливими дієтичними потребами, зміцнення захисних сил організму, зниження ризику впливу токсичних сполук і несприятливої екологічної дії. Ще у 1992 р. на Міжнародній конференції з питань харчування, організованій ВООЗ/ФАО, представники 159 країн, включаючи Україну, одноголосно ухвалили «Всесвітню декларацію і програму дій у галузі харчування» [3].

Для виконання положень цієї Декларації більшість країн, у тому числі й Україна, вже сформулювали і реалізують на державному рівні національні програми здорового харчування населення. Вони вкрай необхідні, оскільки співвідношення впливу різних чинників на здоров'я нації, згідно з оцінкою експертів ВООЗ, має такий вигляд:

- стан навколишнього середовища впливає на здоров'я людини на 20...25%;
- генетичні фактори — на 18...20%;
- система охорони здоров'я — на 8...12%;
- спосіб життя — на 52...55%, причому раціон і структура харчування є найбільш суттєвими складовими цього чинника.

Існує низка захворювань, за яких хворі мають особливі дієтичні потреби. Одним із таких захворювань є фенілкетонурія. Фенілкетонурія («феніл-» — від слова фенілаланін, «-кетон-» — від слова кетони, «-урія» — виділення продуктів обміну з сечею) — спадкова хвороба, яка зумовлена дефектом гена ферменту фенілаланінгідроксилази. Діти, народжені з фенілкетонурією (ФКУ), не здатні метаболізувати фенілаланін, який через це накопичується в крові. Така ненормальна висока кількість фенілаланіну перешкоджає нормальному розвитку мозку. За умови відсутності лікування призводить до розумової відсталості, ураження нервової системи. [3]. У віці від 2—4 місяців у хворих з'являються такі симптоми, як млявість, судоми, гіперрефлексія, «мишачий» запах поту і сечі [5], екзема. А також серед симптомів відзначені: м'язова гіпертензія, гіперкінези, нестійка хода, при недотриманні дієти світлішають очі, волосся, шкіра (через недостатню кількість в організмі меланіну, похідного тирозину), судомні напади [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дитина з ФКУ народжується без будь-яких проявів захворювання. Однак з початком годування, при надходженні в організм білка грудного молока або його замінників, виникають перші симптоми, важко розпізнавані не тільки батьками, але й педіатрами [3].

З метою раннього виявлення ФКУ на доклінічному етапі в усьому світі широко застосовується масове обстеження новонароджених (скринінг). Частота ФКУ серед новонароджених за даними масового скринінгу [3] в різних країнах складає в середньому 1:10000 (табл. 1).

Таблиця 1. Частота захворюваності ФКУ за даними масового скринінгу

| Країна | Кількість хворих | Країна | Кількість хворих |
|--------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Туреччина | 1:2600 | Північна Ірландія | 1:10000 |
| Ісландія | 1:4500 | Австрія | 1:12340 |
| Польща | 1:5000 | Норвегія | 1:15000 |
| Україна | 1:5570 | Швейцарія | 1:16000 |
| Шотландія, Бельгія | 1:6000 | Китай | 1:16500 |
| Німеччина, Чехія | 1:7000 | Ізраїль | 1:19000 |
| США | 1:8000 | Греція | 1:24000 |
| Данія, Австралія | 1:9000 | Канада | 1:25000 |

Фенілаланін (ФА) — це екзогенна незамінна амінокислота, необхідна для нормального росту і розвитку, яка надходить в організм з їжею. У пацієнтів з ФКУ доза фенілаланіну обмежується до кількості, яка залежить від індивідуальної толерантності до ФА.

Низькобілкова дієта дає змогу утримувати концентрацію ФА в сироватці крові хворої дитини на безпечному для центральної нервової системи рівні. Цей рівень визначений для кожної вікової групи (табл. 2).

Таблиця 2. Припустима добова кількість фенілаланіну для дітей різних вікових груп

| Вік дитини | Кількість фенілаланіну (мг/кг маси тіла) |
|-----------------------------|--|
| Від народження до 2 місяців | 60 |
| Від 2 до 3 місяців | 55—50 |
| Від 3 до 6 місяців | 50—45 |
| Від 6 місяців до 1 року | 45—40 |
| Від 1 до 1,5 року | 35—30 |
| Від 1,5 до 3 років | 30—25 |
| Від 3 до 5 років | 25—20 |
| Від 5 до 11 років | 20—15 |

Фенілаланін знаходиться у всіх харчових продуктах, що містять білок, тому їжа з високим вмістом білка повинна бути викреслена з раціону харчування хворих на фенілкетонурію. Однак неможливо повністю виключити надходження фенілаланіну в організм у зв'язку з його значною роллю у процесі зростання і розвитку [8].

Щоб вміст фенілаланіну перебував на певному «безпечному» рівні, дієта повинна складатися зі спеціальних харчових сумішей з низьким вмістом фенілаланіну або без нього (які задовольняють потребу в білку на 70—80%), і такої кількості натуральних продуктів, щоб задовольнити потреби організму в білку, мінеральних компонентах, вітамінах і фенілаланіні, враховуючи основні вікові потреби людини [8].

Викладення основних результатів дослідження. Дієта з обмеженим (зниженим) вмістом фенілаланіну значною мірою обмежує можливість вибору продуктів харчування, в т. ч. кондитерських виробів. Результати розрахунку місту білка та фенілаланіну у найбільш типових представників різних видів кондитерських виробів (табл. 3).

Таблиця 3. Вміст білка та фенілаланіну в кондитерських виробках

| Кондитерський виріб | Вміст у 100 г продукту | |
|---|------------------------|--------|
| | білка, г | ФА, мг |
| Печиво зтяжне «Марія» | 8,50 | 330 |
| Печиво здобне «Ванільне» | 6,4 | 280 |
| Вафлі «Артек» | 3,9 | 185 |
| Пряники «Заварний» | 5,9 | 248 |
| Шоколад молочний | 9,8 | 300 |
| Карамель льодяникова «Дюшес» | 0 | 0 |
| Карамель з фруктово-ягідною начинкою «Джус вишня» | 0,1 | 0 |
| Аерована льодяникова карамель «Бім-Бом» | 0 | 0 |
| Мармелад фруктово-ягідний «Фруктовий сад» | 0,4 | 13 |
| Мармелад желейний «Ассорті» | 0,1 | 2 |
| Цукерки помадні «Ромашка» | 4,0 | 140 |
| Цукерки помадні неглазуровані | 0 | 0 |
| Цукерки «Корівка» | 2,5 | 105 |
| Шоколадні цукерки «Шоколапки» | 4,5 | 191 |

З наведеної інформації видно, що з традиційних кондитерських виробів хворі на фенілкетонурию можуть споживати тільки карамель льодяникову та карамель, до начинки якої не входить білкова складова, мармелад, помадні цукерки неглазуровані. Традиційні борошняні кондитерські вироби хворі на фенілкетонурию взагалі споживати не можуть, тому розроблення таких виробів є актуальним.

За кордоном розроблено низькобілкові вироби, які за органолептичними та структурно механічними показниками схожі на борошняні кондитерські вироби. Такі розробки є в різних країнах. Склад найбільш типових таких виробів наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Інгрідієнтний склад низькобілкових «борошняних» кондитерських виробів

| Вид виробу та країна виробник | Інгрідієнтний склад |
|--|---|
| Пряники Виробник — MEVALIA (Німеччина) | Кукурудзяний крохмаль, маргарин (рослинні жири/пальмова, рапсова, кокосова, частково гідрогенізована пальмова олії/ в різній пропорції, вода, емульгатори: моно- і дигліцериди жирних кислот, лецитин, регулятор кислотності: лимонна кислота; барвник: аннато), безглютенний пшеничний крохмаль, цукор, сироп, харчові волокна, згущувач: гуарова камедь; кориця, порошок ріжкового дерева, емульгатори: моно- і дигліцериди жирних кислот; розпушувач: карбонат натрію. |
| Вершкове печиво Виробник — BEZGLUTEN (Польща) | Пшеничний крохмаль, коричневий цукор, модифікований харчовий крохмаль, шматочки іриски (цукор, частково гідрогенізована пальмоядро і пальмові олії, молоко, знежирене молоко, натуральні та штучні ароматизатори (в тому числі білка ячменю), соєвий лецитин, штучний барвник, масло, карамельний барвник), масло (крем, натуральні ароматизатори), плоди пальми, вода, сироп тапіоки, інулін, полідекстроза, волокна вівса, рапсова олія, повністю гідрогенізоване бавовняне масло, цукор, саго крохмалю, пекарський порошок, ванілін (ванільний екстракт, вода, спирт, кукурудзяний сироп), модифікований ферментом лецитин, цукор, метилцелюлоза, розпушувач (сода, кислий пірофосфат натрію, монокальційфосфат), ксантанова камедь. |
| Печиво зі шматочками шоколаду Виробник — MEVALIA (Німеччина) | Кукурудзяний крохмаль, маргарин: (рослинні олії: пальмова, рапсова), сіль, емульгатор: (складні ефіри полігліцерину і жирних кислот), барвники: (куркумін, аннато), ароматизатори), цукор, шоколадна стружка 4%: (какао терте, цукор, декстроза, емульгатор: соєвий лецитин), глюкозний сироп, барвники: (аміак карамелі), ароматизатори: (ванілін), емульгатори: (моно- та дигліцериди жирних кислот), розпушувачі (бікарбонат натрію). |

Потрібно зазначити, що самі рецептури — співвідношення інгрідієнтів та особливості ведення технологічних процесів не розголошуються. Як видно з інгрідієнтного складу, в технології низькобілкових кондитерських виробів крохмаль є основною сировиною, що містить незначну кількість білкових речовин. Також використовуються різні структуроутворювачі, які надають можливість створити вироби зі структурно-механічними властивостями, схожими на відповідні показники традиційних виробів.

Аналізуючи інгредієнтний склад печива (табл. 4), можна зробити висновок, що в Україні наявна необхідна сировина для розроблення та виробництва низько-білкового печива, яке зможуть споживати особи із захворюванням на фенілкетонурию.

Таблиця 5. Вміст білка та фенілаланіну в 100 г сировини

| Найменування сировини | Кількість білка (г) у 100 г сировини | Кількість фенілаланіну, мг у 100 г сировини |
|--------------------------|---|--|
| Борошно пшеничне в/с | 10,3 | 500 |
| Борошно пшеничне 1/с | 10,6 | 580 |
| Борошно рисове | 8,0 | 370 |
| Борошно кукурудзяне | 8,3 | 360 |
| Яйце куряче (ціле) | 12,7 | 652 |
| Молоко нативне | 3,0 | 180 |
| Молоко сухе незбиране | 26,0 | 1400 |
| Молоко сухе знежирене | 32,0 | 1940 |
| Молоко згущене з цукром | 7,2 | 440 |
| Масло вершкове | 0,6 | 20 |
| Маргарин столовий | 0 | 10 |
| Пальмова олія | 0 | 0 |
| Яблука | 0,4 | 9 |
| Яблучне пюре | 0,3 | 7,2 |
| Родзинки | 2,4 | 48 |
| Абрикос | 0,9 | 13 |
| Банан | 1,5 | 50 |
| Персик | 0,9 | 10 |
| Вишня | 0,8 | 0 |
| Слива | 0 | 0 |
| Цукор білий кристалічний | 0 | 0 |
| Фруктоза | 0 | 0 |

Як видно з табл. 5, пшеничне борошно, молоко і яйцепродукти містять високу кількість білка та фенілаланіну, тому використовувати їх при виробництві печива для хворих на фенілкетонурию недоцільно. В той же час пшеничне борошно містить клейковинні білки, необхідні для утворення структури тіста, тож з технологічної точки зору його використання доцільне. Рисове та кукурудзяне борошно містить менше, ніж пшеничне, фенілаланіну, а тому їх можна було б використовувати у більшій кількості. Однак їх використання не є доцільним, оскільки це борошно не містить клейковини, необхідної для утворення структури тіста.

Проведені дослідження підтвердили, що за умови виключення з рецептурного складу яйцепродуктів та пшеничного борошна (без введення додаткових рецептурних компонентів) тісто не має необхідних структурних властивостей, необхідних для формування виробів. Таке тісто не можна було розкачати в пласт, воно розривалось на шматочки, а спроби формувати тісто відсадженням з кондитерського мішка показали, що тісто не мало необхідної текучості. Тому було прийнято рішення при розробленні печива для хворих на фенілкетонурию використовувати пшеничне борошно в обмеженій кількості, кукурудзяний крохмаль, повністю виключити яйцепродукти.

Також проведено комплекс досліджень з метою пошуку сировинних компонентів, які зможуть надати тісту необхідних структурних властивостей. Вирішено до складу рецептур вводити крохмальну патоку у великій кількості (заміна 50% цукру). Це сприяло тому, що тісто набуло більш «зв'язаної» структури. За умови внесення пшеничного борошна (у кількості до 4...5% до маси готового виробу) тісто набувало необхідних структурних властивостей, які забезпечують можливість формування виробів. До рецептурного складу низькобілкового печива також вводили яблучне пюре. На основі проведених досліджень розроблено рецептури печива для хворих на фенілкетонурію, розрахунковий вміст фенілаланіну у яких склав 41,5 мг та 49,8 мг на 100 г виробу.

Розроблення низькобілкового печива було продовжено у напрямі застосування структуроутворювачів: карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та камеді гуара. Дослідження з визначення раціонального вмісту КМЦ та камеді гуара показали, що їх доцільно застосовувати у кількості 0,88% та 0,35%, відповідно. В рецептурному складі таких виробів також був великий вміст патоки. Розрахунковий вміст фенілаланіну у розробленому печиві — 29 мг на 100 г виробу.

Подальші дослідження передбачали раціоналізацію кількості структуроутворювачів карбоксиметилцелюлози і камеді гуару та виключення з рецептурного складу крохмальної патоки.

Цікавим і перспективним напрямком є розроблення низькобілкових «борошняних» кондитерських виробів м'якої групи, тобто виробів, в яких наявна м'якушка. Зважаючи на інформацію, наведену в табл. 4, такі розробки проводяться за кордоном (для структури пряників характерна м'якушка).

Для створення «борошняних» кондитерських виробів м'якої групи, ймовірно, потрібні інші рецептурні компоненти та/або інше їх співвідношення. Так, наприклад, якщо говорити про традиційні види крохмалю, які найбільш часто застосовуються в кондитерській промисловості, то перевагу при створенні виробів м'якої групи більш доцільно надавати кукурудзяному крохмалю. Крохмаль, отриманий із зерна пшениці, також використовується у технологіях низькобілкових продуктів. З водою пшеничний крохмаль утворює непрозорий гель. Він близький за властивостями до кукурудзяного крохмалю, але при однакових концентраціях клейстери, виготовлені з пшеничного крохмалю, мають нижчу в'язкість і проявляють підвищену тенденцію до утворення м'яких драглів порівняно з крохмалем кукурудзи.

Враховуючи велике вуглеводне навантаження, характерне для низькобілкових дієт, при розробленні виробів для хворих на фенілкетонурію доцільно застосовувати солодкі речовини з низьким глікемічним індексом, наприклад фруктозу. Потрібно зазначити, що цукрозамінники, переважно поліоли, мають значно менший глікемічний індекс, ніж фруктоза. Однак тут потрібно враховувати, для якої вікової групи призначені вироби. Значна частина цукрозамінників-поліолів дітям до трьох років не рекомендована.

Якщо акцентувати увагу на доцільності зменшення глікемічного навантаження на організм, то доцільним є застосування інуліну, який сприяє нормалізації рівня глюкози в крові. Застосування певних типів інуліну може мати і технологічне значення — загушення структури, надання в'язких властивостей.

Раніше вважалося, що хворим на фенілкетонурію не вистачає певних вітамінів і мінералів. Однак за останні 20 років їх харчування суттєво змінилося за рахунок споживання амінокислотних сумішей, що не містять фенілаланіну.

Зазвичай, ці суміші збагачують комплексами вітамінів і мінералів, що необхідні хворим на фенілкетонурію. Зарубіжними науковцями було проведено дослідження, у якому взяли участь сто дванадцять пацієнтів із класичною ФКУ (53 жінки, 47,3%) та 36 здорових контрольних осіб (18 жінок, 50,0%). Виявлено, що середній рівень вітаміну В₁₂ у сироватці крові в пацієнтів з ФКУ вищий, ніж у контрольній групі ($p = 0,002$). Дефіцит вітаміну В₁₂ становив 15,2% та 30,6% відповідно у хворих на ФКУ та здорових ($p = 0,040$). Середній рівень фолієвої кислоти у сироватці крові був вищим у пацієнтів з ФКУ, ніж у контрольній групі ($p < 0,0001$). У 55,4% пацієнтів з ФКУ та у контрольній групі 2,8% рівень фолієвої кислоти у сироватці крові перевищував контрольний діапазон ($p < 0,0001$). Частота значень феритину та преальбуміну вища за середнє значення була у пацієнтів з ФКУ порівняно з контрольною групою (44,4% проти 16,9%, $p = 0,001$; 38,8% проти 22,1%, $p = 0,020$ відповідно). Дефіцит 25-гідрокси вітаміну D був виявлений у 53,6% та 47,2% пацієнтів з ФКУ та контрольної групою відповідно. Рівень міді та цинку у сироватці крові хворих на фенілкетонурію та здорових людей був у межах норми. [7]. Враховуючи ці дані, можна зробити висновок, що низькобілкові продукти для хворих на фенілкетонурію доцільно збагачувати вітаміном D. Вносячи будь-які вітамінні та мінеральні добавки у дієтичні продукти, варто акцентувати інформацію про вміст таких добавок на упаковці.

Висновки

Важливий метод лікування захворювання — дієтотерапія. Але для можливості дотримання безбілкової дієти, необхідної при фенілкетонурії, варто розробити технології безбілкових харчових продуктів і впровадити їх у виробництво. Для цього потрібно об'єднати зусилля технологів, науковців, практиків, медиків. Також потрібна державна підтримка.

Література

1. ДСТУ 3781:2014. Печиво. Загальні технічні умови. [На заміну ДСТУ 3781-98; чинний від 2015-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2014. 23 с.
2. ДСТУ 7346:2013. Вироби кондитерські борошняні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2013. 15 с.
3. Al Hafid N., Christodoulou J. Phenylketonuria: a review of current and future treatments. *Translational Pediatrics*. 2015. Vol. 4, No 4. P. 304—317.
4. Hagedorn T. S., van Berkel P., Hammerschmidt G., Lhotáková M. Requirements for a minimum standard of care for phenylketonuria: the patients' perspective. *Orphanet Journal of Rare Diseases*. 2013. No 8. P. 191—199.
5. Van Wegberg A. M., MacDonald A., Ahring K., Bélanger-Quintana A., Blau N., Bosch A. M., Burlina A., Campistol J., Feillet F., Gizewska M., Huijbregts S. C. The complete European guidelines on phenylketonuria: diagnosis and treatment. *Orphanet Journal of Rare Diseases*. 2017. Vol. 12, No 8. P. 168—224.
6. Burgard P., Ullrich K., Ballhausen D., Hennemann J. B., Hollak C. E., Langeveld M. Issues with European guidelines for phenylketonuria. *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*. 2017. Vol. 5, No 9. P. 681—683.
7. Kose E., Arslan N. Vitamin/mineral and micronutrient status in patients with classical phenylketonuria. *Clinical Nutrition*. 2019. Vol. 38, No 1. P. 197—203.
8. Kim J., Boutin M. New multipliers for estimating the phenylalanine content of foods from the protein content. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017. No 42. P. 117—119.
9. Soltanizadeh N., Mirmoghtadaie L. Strategies used in production of phenylalanine-free foods for PKU management. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2014. Vol. 13 No 3. P. 287—299.

УДК 330.43:663.4

USE OF JAPANESE SOFORA AS A NON-TRADITIONAL RAW MATERIAL IN THE BREWING INDUSTRY

M. Boyko

National University of Food Technologies

Key words:

Sophora japonica
Antioxidant
Light beer
Fermentation
Wort extractivity

Article history:

Received 04.03.2020
Received in revised form
20.03.2020
Accepted 10.04.2020

Corresponding author:

M. Boyko
E-mail:
boiko80@ukr.net

ABSTRACT

To meet the needs of the consumers, beer should have a set of necessary properties and be characterized by the ability to meet physiological needs and affect positively the human body. Therefore, the main task in the production of beer is to keep its organoleptic and physicochemical properties within the limits, prescribed by state standards, as long as possible. Also, due to the increasing consumer demand for new types of beer, it is advisable to use non-traditional raw materials in the production of this beverage to expand the range, as well as its saturation with nutrients, primarily antioxidants.

High antioxidant activity can be found in substances of flavonoid nature (rutin, quercetin etc.), such as *Sophora japonica* that is the material for industrial receiving of quercetin. These raw materials have the most anti-radical activity, capillary strengthening, anti-oxidant, anti-virus, anti-inflammatory, immunotropic and anti-radiation effects and also have the ability to make complex with heavy metals and radionuclides. Rutin normalizes the heart rhythm, it is a synergist of ascorbic acid and it promotes its accumulation in the adrenal glands and liver. In addition to rutin, flavonoids such as campferol-3-soforoside, quercetin-3-rutinoside, genistein-4-sofrobioside, narcissin were found in the fruits of *Sophora japonica*. A variety of flavones are isoflavones, which are presented in *Sophora japonica* by the glycoside and glucuronide of genistein and exhibit anti-inflammatory and osteotropic (weakening of bone resorption processes and increase in their mineral density) properties.

Today, increasing the antioxidant capacity of beer is a topical task. *Sophora japonica* (*Sophora japonica L.*) is one of the most promising plants containing a significant amount of antioxidants. Therefore, studies were conducted to establish the prospect of using *Sophora japonica* as a source of biologically active substances in the brewing industry and to prove the effectiveness of its use as an antioxidant in beer.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-2-20

ВИКОРИСТАННЯ СОФОРИ ЯПОНСЬКОЇ ЯК НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ У ПИВОВАРНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

М. І. Бойко

Національний університет харчових технологій

Для задоволення потреб споживача пиво повинно мати сукупність необхідних властивостей і характеризуватися здатністю задовольняти фізіологічні потреби та позитивно впливати на організм людини. Тому основне завдання при виробництві пива — зберегти його органолептичні і фізико-хімічні властивості в межах норм, передбачених державними стандартами, якомога більш тривалий час. Зважаючи на постійно зростаючий попит споживачів на нові сорти пива, доцільним є використання нетрадиційної сировини у виробництві цього напою для розширення асортименту, а також його насичення корисними речовинами, передусім антиоксидантами.

Високу антиоксидантну активність мають речовини флавоноїдної природи (рутин, кверцетин тощо), які у значній кількості містяться у софорі японській, що є сировиною для промислового одержання рутину і кверцетину. Ці сполуки мають найбільшу антирадикальну активність і виявляють капілярозміцнювальну, антиоксидантну, противірусну, протизапальну, імунотропну та проти-променеви дію, а також мають здатність до комплексоутворення з важкими металами та радіонуклідами. Рутин нормалізує ритм серця, є синергістом аскорбінової кислоти та сприяє її накопиченню в наднирниках і печінці. Крім рутину, у плодах софори знайдено такі флавоноїди, як кемпферол-3-софорозид, квергегин-3-рутинозид, генісгєїн-4-софоробіозид, нарцисин тощо. Різновидом флавонів є ізофлавоон, які представлені в софорі глікозидом і глюкуронідом геністеїну та виявляють протизапальні й остеотропні (послаблення процесів резорбції кісток і збільшення їхньої мінеральної щільності) властивості.

Софора японська (*Sophora Japonica L.*) — одна з найбільш перспективних рослин, що містить значну кількість антиоксидантів, тому вивчення софори японської як джерела біологічно активних речовин у пивоварній промисловості та доведення ефективності її використання як нетрадиційної сировини в пиві є досить актуальним завданням, яке потребує свого вирішення.

Ключові слова: софора японська, антиоксиданти, світле пиво, бродіння, екстрактивність сусла.

Постановка проблеми. Дикорослі плоди та ягоди є багатим джерелом вітамінів, мінеральних сполук, органічних кислот, макронутрієнтів тощо. Їхня цінність як лікарської та харчової сировини визначається комплексом біологічно активних речовин, зокрема якісним і кількісним складом, синергізмом дії та високим ступенем засвоєння живим організмом. Включення фітоекстрактів до складу харчових продуктів, особливо позбавлених вираженого смаку, запаху і кольору, значно поліпшують їхні органолептичні показники за рахунок природних барвників та ефірних олій. Наявність антиоксидантів, фітонцидів, ряду органічних кислот у фітокомпозиціях сприяє подовженню термінів зберігання напоїв [1].

В Україні та інших країнах світу значно погіршився стан здоров'я населення через шкідливий вплив техногенного забруднення навколишнього середовища. Насамперед на ці фактори реагують імунна, ендокринна та серцево-судинна системи, погіршуються показники крові. Необхідно вирішувати проблему детоксикації організму, а також нормалізації обміну речовин. До найважливіших засобів захисту організму від шкідливих речовин відносяться рослинні антиоксиданти, які інгібують активні форми кисню та вільні радикали і не чинять негативної дії на організм. Вживання антиоксидантів запобігає розвитку атеросклерозу та злоякісних пухлин, збільшує амплітуду серцевих скорочень, нормалізує серцевий ритм, регулює імунні процеси [2].

Визначення антиоксидантної активності пива здійснюється шляхом вимірювання його окисно-відновного потенціалу. Окислювально-відновний потенціал (ОВП) є мірою хімічної активності елементів або їхніх сполук в оборотних хімічних процесах, пов'язаних зі зміною заряду іонів в розчинах. ОВП, або редокс-потенціал (від англійського RedOxReduction/Oxidation), характеризує ступінь активності електронів в окислювально-відновних реакціях, тобто реакціях, пов'язаних з приєднанням або передачею електронів. При вимірах (в електрохімії) величина цієї різниці позначається як E_h і виражається в мілівольтах. Чим вища концентрація компонентів, здатних до окислення, до концентрації компонентів, що можуть відновлюватися, тим вищий показник редокс-потенціалу [3].

Софора японська (*Sophora Japonica L.*) — одна з найбільш перспективних рослин, що містить значну кількість антиоксидантів. Пуп'янки і плоди цієї рослини є найважливішим джерелом для промислового одержання рутину та кверцетину. З кожним роком зацікавленість цією рослиною зростає, більш детально вивчаються біологічно активні речовини й метаболіти всіх частин рослини та їх фармакологічна активність. З різних частин софори японської виділені та досліджені біологічно активні речовини, які відносяться до різних груп і класів органічних сполук [4].

Тож визначення фізико-хімічних показників пива при додаванні софори японської (окремих її складових частин), що має високу антиоксидантну активність, багата на біологічно активні речовини, які сприяють стабілізації пива та підвищують антиоксидантну здатність продукту, є актуальним завданням

Мета статті: дослідження та встановлення перспективи використання софори японської як джерела біологічно активних речовин у пивоварній промисловості та доведення ефективності її використання як нетрадиційної сировини у пиві.

Матеріали і методи. Використовували свіжу декоративну заморожену софору японську з окремими її складовими частинами, завезену з півострова Крим. Фізико-хімічні показники пива для формування якості пива з додаванням нетрадиційної сировини визначали за такими показниками: вміст сухих речовин у пиві (рефрактометричний метод); вміст дійсного екстракту в пиві (рефрактометричний метод); вміст спирту в пиві (дистиляційний метод); колір пива; титрована кислотність пива (згідно з ДСТУ3888-2015 Пиво. Загальні технічні умови) [5].

Результати і обговорення. Крім флавоноїдів, у плодах софори ідентифіковано 9 сполук флавоноїдної природи (флаванол тетраглікозид, софорабіозид, софорафлавонолозид, геністеїн, текторидин, сизотрин, 7,4-ді-галол-р-0-глюкопіраноза тощо).

У плодах софори містяться такі макроелементи, (мг/г): К — 17,30; Са — 2,20; Mg — 1,2. Із водних витяжок плодів софори японської виділені полісахариди, вміст яких становить 4,9...8,16%, серед них водорозчинних полісахаридів — 3,9...5,0%, пектинових речовин — 10,3...15,2%, геміцелюлози — 7,4...8,5% [6—9].

У табл. 1 представлено вміст рутину в різних складових частинах софори японської.

Таблиця 1. Вміст рутину в різних складових частинах софори японської

| Показник | Вміст у софори японській | | | | |
|----------|--------------------------|----------|----------|---------------|---------------------------------|
| | бутони | пуп'янки | суцвіття | незрілі плоди | плоди, зібрані в зимовий період |
| Рутин % | 16,5...20 | 12...18 | 9...10 | 5...7 | 3...4 |

Перший етап дослідження передбачав проведення порівняльної характеристики фізико-хімічних показників різних видів пива (експериментальних зразків). Було досліджено пиво з додаванням таких видів сировини, як бутони софори японської (зразок 2), пуп'янки софори японської (зразок 3) та суцвіття софори японської (зразок 4). Також підготовлено контрольний зразок (зразок 1) без додавання жодної сировини. Для приготування вищезазначених дослідних зразків взято пивне сусле екстрактивністю 11,8%. Сировина з підвищеним вмістом антиоксидантів додавалася до досліджуваних зразків через 90 хв після початку кип'ятіння. Тривалість кип'ятіння склала 120 хв. Нетрадиційна сировина була задана у кількості 4 г/дм³. Після проведення процесу кип'ятіння охмелені зразки відстоювали, щоб вилучити білковий брукт. В подальшому охмелене сусле охолоджувалося, в нього були задані дріжджі Fermentis S-189. Наступні чотири доби під час бродіння експериментальних зразків встановлено якісний вплив доданої нетрадиційної сировини на перебіг цього процесу.

Зміну екстрактивності сусле під час бродіння наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Зміна екстрактивності сусле у процесі бродіння

| Зразок * | Вміст сухих речовин, % | | Зміна вмісту сухих речовин у процесі бродіння, % | | |
|----------|------------------------|-----------------|--|------------|---------------|
| | до охмелення | після охмелення | Друга доба | Третя доба | Четверта доба |
| зразок 1 | 11,8 | 12,0 | 11,8 | 9,9 | 7,5 |
| зразок 2 | 11,8 | 12,1 | 11,9 | 9,8 | 7,3 |
| зразок 3 | 11,8 | 12,0 | 11,8 | 9,6 | 7,2 |
| зразок 4 | 11,8 | 12,0 | 11,8 | 9,6 | 7,2 |

Примітка: зразок 1 — контрольний (без додавання складових частин софори японської); зразок 2 — бутони софори японської; зразок 3 — пуп'янки софори японської; зразок 4 — суцвіття софори японської.

З табл. 2 видно, що в зразок, до якого під час кип'ятіння сусле з хмелем було додано бутони софори японської, показав відповідний результат — 12,1% за вмістом сухих речовин після охмелення, що свідчить про підвищений вміст поліфенольних речовин, які мають властивості утворювати нерозчинні комплекси з білковими речовинами і зумовлюють краще осаджувати зависі пива, адже

при недостатньому вилученні в подальших технологічних стадіях зменшується бродильна активність дріжджів.

Зразки 3 та 4, до яких було додано пуп'янки софори японської та суцвіття, також продемонстрували результат 12%, що наближається до контрольного зразка.

Наступним етапом дослідження було визначення фізико-хімічних показників якості готового пива з додаванням різних складових частин софори і контрольного зразка. Ці дослідження були проведені на 14 добу дозрівання пива. Отримані дані за основними показниками наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники пива з додаванням різних складових частин плоди софори

| Зразок * | Вміст дійсного екстракту, % | Вміст спирту, % | Колір, см ³ , 0,1 моль/дм ³ розчину I ₂ на 100 см ³ пива | pH | Кислотність, см ³ , 1 моль/дм ³ розчину NaOH на 100 см ³ пива |
|----------|-----------------------------|-----------------|--|------|--|
| 1 | 4,8 | 3,70 | 0,40 | 4,4 | 1,80 |
| 2 | 4,7 | 3,78 | 0,41 | 4,46 | 1,88 |
| 3 | 4,6 | 3,76 | 0,40 | 4,46 | 1,89 |
| 4 | 4,6 | 3,76 | 0,41 | 4,42 | 1,89 |

Примітка: * зразок 1 — контрольний (без додавання складових частин софори японської); зразок 2 — бутони софори японської; зразок 3 — пуп'янки софори японської; зразок 4 — суцвіття софори японської.

Встановлено, що зразок 2 повністю відповідає ДСТУ3888-2015 Пиво. Загальні технічні умови за фізико-хімічними показниками. Пиво стабілізоване шляхом додавання бутонів софори японської. Це пояснюється тим, що бутони містять велику кількість рутину (табл. 1). Також решта представлених зразків після проведення фізико-хімічних досліджень показали повну відповідність показникам, наведеним у ДСТУ3888-2015 Пиво. Загальні технічні умови. Це свідчить про найкраще протистояння окисненню.

Високоякісним може бути пиво, що має високу стійкість за належних умов зберігання. Тому всі зразки пива, що досліджувалися на попередніх етапах, були залишені на зберігання. Для прискорення зістарювання пиво залишали при температурі 18—20°C протягом 8 діб. Щодня в дослідних зразках визначали зміну вмісту сухих речовин, а також їхній показник титрованої кислотності. Ці показники досить чітко відображають стан окисненості пива. Результати дослідів наведені в табл. 4 і 5.

Таблиця 4. Зміна вмісту сухих речовин пива під час зберігання

| № зразка | Термін зберігання, діб | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Вміст сухих речовин, % | | | | | | | | |
| 1 | 4,8 | 4,7 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,2 | 4,0 |
| 2 | 4,7 | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,1 |
| 3 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,1 |
| 4 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,1 | 4,0 |

Таблиця 5. Зміна титрованої кислотності пива під час зберігання

| № зразка | Термін зберігання, діб | | | | | | | |
|----------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | Кислотність мл 0,1н NaOH на 100 мл | | | | | | | |
| 1 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 3,2 | 3,5 |
| 2 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,0 |
| 3 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,6 | 2,9 | 3,2 |
| 4 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 |

З табл. 4 та 5 видно, що всі представлені зразки, в які було додано нетрадиційну сировину, продемонстрували високу стійкість до скисання. Це доводить доцільність використання сировини софори для підвищення терміну зберігання пива.

Висновки

У результаті проведених досліджень доведено доцільність та ефективність використання софори японської та окремих її складових частин у пивоварній галузі. Встановлено, що додавання в пиво софори японської підвищує біологічну й антиоксидантну здатність продукту.

Література

1. Данилова Л. А., Березка Т. О., Домарецький В. А., Ганчук В. Д. Природні антиоксиданти. *Харчова та переробна промисловість*. 2008. Вип. 1. С. 25—27.
2. Яшин Я. И., Яшин А. Я., Черноусова Н. И. Антиоксиданты против болезней. *Химия и жизнь*. 2007. № 11. С. 24—27.
3. Березка Т. О. Удосконалення технології високостійкого пива з використанням антиоксидантів з рослинної сировини: автореф. дис. ... канд. тех. наук: спец. 05.18.05 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв». К., 2014. 22 с.
4. Silva F. A. Effects of phenolic propyl esters on the oxidative stability of refined sunflower oil. *Food Chem.* 2001. Vol. 49. P. 936—941.
5. ДСТУ 3888-2015 Пиво. Загальні технічні умови: чинний з 2000-01-01. К.: Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України, 2015. 42 с. (Національний стандарт України).
6. Великородов А. В. Изучение химического состава плодов и соцветий софоры японской интродуцированной в Астраханской области. *Естественные науки*. 2010. № 2(31). С. 164—169.
7. Лупа В. І. Використання отруйних рослин у медицині — рід софора (*SOPHORA L.*). *Фітотерапія*. 2008. № 4. С. 35—42.
8. Максютіна Н. П. Попередні дослідження по отриманню кверцетин-концентрату з пуп'янків софори японської. *Фітотерапія*. 2006. № 1. С. 65—67.
9. Чолаж І. С. Нові біологічно активні сполуки в сировині софори японської (*Sophora Japonica L.*) та їх біологічна активність. *Фітотерапія. Часопис*. 2010. № 4. С. 79—82.

POLYFUNCTIONAL FOOD INGREDIENTS BASED ON THE COMPLEXES OF BIOMETALS WITH COMPOUNDS OF PROBIOTIC ORIGIN

A. Kapustian, N. Chernob

Odessa National Academy of Food Technologies

Key words:

*Functional food ingredients
Biometals
Chelate complexes
Muropeptides
Dietary fiber*

Article history:

Received 02.03.2020
Received in revised form 17.03.2020
Accepted 03.04.2020

Corresponding author:

A. Kapustian
E-mail:
fst.journal@ukr.net

ABSTRACT

To combat the fairly common problem of hypo-elementosis, it is advisable to develop functional food ingredients based on complexes of biometals with organic ligands, namely, the degradation products of peptidoglycans of probiotic cultures. The complexes of Fe^{3+} , Ca^{2+} and Mg^{2+} with mixed ligand system containing the processing products of *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* B-3964 (amino acids, low molecular weight peptides and muropeptides, which have their own immunotropic activity) were obtained. Peptidoglycan degradation products were obtained by sequential ultrasound and papain biomass treatment. As a result, a mixture of amino acids, low molecular weight peptides and muropeptides was obtained, the concentration of which was 10.24 mg/cm^3 , 6.45 mg/cm^3 and 2.25 mg/cm^3 , respectively.

The course of complexation was monitored by the nephelometry method. It was found that the investigated bioligand system binds Fe^{3+} ions in the amount of $32 \text{ mol/dm}^3 \cdot 10^{-2}$, Ca^{2+} — $28 \text{ mol/dm}^3 \cdot 10^{-2}$, and Mg^{2+} — $24 \text{ mol/dm}^3 \cdot 10^{-2}$. The behavior of complexes at different pH and temperature values was studied. They are found to be stable in the pH range inherent in most food and digestive systems. The differential scanning calorimetry method shows that the obtained complexes are stable in the temperature range of $44\text{—}180^\circ\text{C}$, which allows to recommend them as functional food ingredients for food products which technology requires high-temperature processing. The feasibility of the obtained biometals complexes immobilization at dietary fibers is substantiated. It is proved that immobilization occurs only by physical sorption, which contributes to the complete release of the active components in media that mimic the pH of the small intestine, where the absorption of biometals is occurred. The presence of composition of the biometals in organic form, low molecular weight muropeptides with immunotropic activity, dietary fibers in the investigated ingredients allows to classify these preparations as the category of polyfunctional substances.

ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРЧОВІ ІНГРЕДІЄНТИ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСІВ БІОМЕТАЛІВ ЗІ СПЛУКАМИ ПРОБІОТИЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

А. І. Капустян, Н. К. Черно

Одеська національна академія харчових технологій

Для боротьби з доволі розповсюдженою проблемою гіпоелементозів доцільним є розроблення функціональних харчових інгредієнтів на основі комплексів біометалів з органічними лігандами — продуктами деструкції пептидогліканів пробіотичних культур. У статті отримано комплекси Fe^{3+} , Ca^{2+} та Mg^{2+} зі змішаною лігандною системою, що містила продукти переробки *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* B-3964 — амінокислоти, низькомолекулярні пептиди та муропептиди, які володіють імуностимулюючою активністю. Деструкцію пептидогліканів здійснювали шляхом послідовної обробки біомаси ультразвуком і папаїном, у результаті чого отримали суміш амінокислот, низькомолекулярних пептидів та муропептидів, концентрація яких складає, відповідно, 10,24 мг/см³, 6,45 мг/см³ та 2,25 мг/см³.

Хід комплексоутворення контролювали за допомогою методу нефелометрії. Встановлено, що досліджувана система біолігандів зв'язує йони Fe^{3+} у кількості 32 моль/дм³·10⁻², Ca^{2+} — 28 моль/дм³·10⁻² та Mg^{2+} — 24 моль/дм³·10⁻². Вивчено поведінку комплексів при різних значеннях рН середовища та температур. Встановлено, що вони є стабільними в інтервалі рН, притаманному більшості харчових систем і системи травлення. Методом диференціальної скануючої калориметрії доведено, що отримані комплекси є стабільними в інтервалі температур 44—180°C, що надає можливість рекомендувати їх як функціональні харчові інгредієнти для продуктів харчування, технологія яких передбачає високотемпературну обробку. Обґрунтовано доцільність іммобілізації отриманих комплексів біометалів на харчових волокнах. Доведено, що іммобілізація відбувається шляхом фізичної сорбції, що сприяє повному вивільненню активних складових у середовищах, що імітують рН тонкого кишківника, де й відбувається поглинання біометалів. Наявність у складі досліджуваних функціональних харчових інгредієнтів біометалів в органічній формі, низькомолекулярних муропептидів, що володіють імуностимулюючою активністю та харчових волокон, дає змогу віднести ці засоби до категорії поліфункціональних.

Ключові слова: функціональні харчові інгредієнти, біометали, хелатні комплекси, муропептиди, харчові волокна.

Постановка проблеми. Останнім часом теорії харчування, яке б задовольняло всі аспекти фізіологічної активності та потреби в аліментарних нутрієнтах, трансформуються та вдосконалюються паралельно зі змінами науково-технічного прогресу. На зміну оптимальній теорії харчування приходять теорії функціонального харчування [1]. Функціональне харчування надає можливість індивідуалізувати особливості та потреби кожної людини, запобігти браку есенційних компонентів їжі, який може виникати через певні обмеження у харчуванні, пов'язані із захворюваннями різної етіології, алергічними станами, інтенсивним ритмом життя. Сьогодні досить гостро стоїть проблема гіпоелементозів [2;

3]. Брак есенціальних біметалів, зокрема кальцію, магнію, заліза тощо, може привести до непоправних наслідків: порушення метаболізму, залізодефіцитної анемії, розладів серцево-судинної, нервової системи, імунітету тощо [2—5]. Застосування функціонального харчування для подолання цієї проблеми шляхом введення до раціонів легкозасвоюваних і безпечних форм біометалів є вельми актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує три основні підходи [2] до вирішення проблеми дефіциту макро- і мікроелементів: перший — споживання продуктів із високим вмістом мінеральних речовин; другий — застосування лікарських препаратів і дієтичних добавок; третій — цілеспрямоване збагачення дефіцитними елементами продуктів харчування масового споживання. Найбільш оптимальним для профілактики аліментарно залежних гіпоелементозів є збагачення есенційними біоелементами продуктів масового харчування.

США, Англія, Швеція, Голландія та ін. прийняли загальнонаціональні програми збагачення продуктів харчування макро- і мікроелементами. Досвід цих країн показує, що використання для цього неорганічних сполук елементів не забезпечує необхідний рівень їхнього засвоєння, може призводити до побічних фізіологічних ефектів, негативно впливати на сенсорні характеристики продукту [2—4]. Тому актуальним є розроблення безпечних та ефективних харчових інгредієнтів на основі сполук біогенних металів. Відомо що органічні та хелатні сполуки біометалів є більш ефективними та безпечними порівняно з їхніми неорганічними формами [2—5].

Особливий інтерес для профілактики мікроелементозів представляють хелатні сполуки біогенних елементів з органічними лігандами, оскільки в обміні всіх мінеральних речовин беруть участь білки, пептиди, амінокислоти, фосфоліпіди, вуглеводи, карбонові кислоти тощо [2; 6]. Попри певні досягнення в галузі розробки хелатних форм біометалів, пошук нових, більш досконалих форм функціональних харчових інгредієнтів, призначених для профілактики мікроелементозів, все ж триває [7—11].

Перспективним є використання продуктів метаболізму та переробки пробіотичних бактерій для отримання змішанолігандних хелатних комплексів біометалів. Ці системи містять у своєму складі ряд сполук, які можна віднести до потенційних органічних лігандів для комплексоутворення біометалами, а саме: органічні кислоти, амінокислоти, низькомолекулярні пептиди, муропептиди. До того ж застосування сполук муропептидного ряду для комплексоутворення з біометалами дасть змогу створити поліфункціональні засоби, адже муропептиди володіють потужними імунотропними властивостями [12; 13].

Мета статті: отримання та характеристика поліфункціональних харчових інгредієнтів на основі комплексів есенційних біометалів, зокрема кальцію, магнію та заліза, з низькомолекулярними продуктами деградації пептидогліканів клітинних стінок і метаболітами *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* В-3964.

Матеріали і методи. *Матеріали досліджень.* Для досліджень використовували біомасу (БМ) молочнокислих бактерій *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* В-3964 концентрацією $4,8 \cdot 10^9$ КУО/см³ (НВП «Ариадна», м. Одеса, Україна); папаїн із протеолітичною активністю 10 од/мг (Swanson Health Products, США); FeCl₃·6H₂O (Китай); CaCl₂ (СТАВ, Нідерланди); харчові волокна пшеничних висівків (ХВПВ) (Фармаком, м. Харків, Україна).

*Отримання продуктів деструкції пептидогліканів *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* В-3964.* Виділення клітин з культуральної рідини здійснювали шляхом центрифугування протягом 15 хв при 8000 хв⁻¹. Осад клітин відмивали дистильованою водою, ресуспендували та піддавали ультразвуковій обробці, використовуючи ультразвукові ванни ПСБ-1335-05 із робочою частотою 40 кГц, тривалість обробки — 300 с. Ферментативну деструкцію клітинних стінок БМ здійснювали обробкою папаїном за температури 37°C та рН=7,4. Співвідношення фермент:субстрат (вміст сухих речовин БМ) складало 1:200, тривалість інкубації реакційної суміші — 300 хв. Ферментоліз зупиняли екстремим нагріванням до температури 100°C, суміш охолоджували, відокремлювали рідку фазу від твердої шляхом центрифугування протягом 10 хв при 8000 хв⁻¹. У рідкій фазі контролювали вміст вільних амінокислот методом формольного титрування [14]. Вміст низькомолекулярних пептидів (НМП) визначали методом Бенедикта [14] після осадження високомолекулярних білків 10-відсотковим розчином трихлор-оцтової кислоти (ТХО), вміст муропептидів визначали після очищення ферментолізату на іонообмінній колонці з катіонітому КУ-2 та подальшим визначенням вуглеводної складової у складі муропептидів Антроновим методом [14].

Отримання органічних комплексів біометалів. Комплекси отримували поєднанням розчинів ферментолізату *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* В-3964 та біометалів при інтенсивному перемішуванні протягом 180 с, температура комплексоутворення складала 40°C. Комплексоутворювальну здатність іонів металів стосовно біолігандів визначали нефелометричним методом за наявності Na₂CO₃ на спектрофотометрі СФ-2000 за довжини хвилі 450 нм [16].

Дослідження рН-стабільності комплексів. Поведінку комплексів досліджували в інтервалі значень рН середовища 1—10 од. Необхідне значення рН досягали при використанні стандартних розчинів NaOH і H₂SO₄. Концентрацію вільних Fe³⁺ визначали тіоціонатним методом [17], концентрацію комплексу магнію та кальцію визначали спектрофотометрично за довжини хвилі λ=340 нм [16]. Стабільність хелатних комплексів розраховували за формулою (1):

$$C = \frac{a-b}{a} 100, \% \quad (1)$$

де *a* — вихідна концентрація комплексу, мг/см³; *b* — концентрація комплексу після інкубування при певних значеннях рН, мг/см³.

Дослідження термостійкості отриманих комплексів. Дослідження проводили за допомогою методу диференційної скануючої калориметрії (ДСК) у динамічному режимі. Термограми ДСК були отримані в діапазоні температур 25—250°C при постійній швидкості нагріву 5°C/хв на калориметрі Derivatograph Q1500-D. Для того, щоб встановити, за яких умов відбудеться повне розкладання зразків, нагрів було продовжено до максимальної температури — 450°C. Наважку масою 500 мг було поміщено у керамічний тигель. Точність визначення температури становила ±1°C, теплового ефекту — ±3%.

Отримання функціональних харчових інгредієнтів (ФХІ). ФХІ отримували шляхом іммобілізації органічних комплексів біометалів на ХВПВ, які попередньо позбавляли від залишків водо- та солерозчинних білків шляхом трикратної обробки фізіологічним розчином NaCl при гідромодулі (ГМ) 1:20 (суміш перемішували протягом 10 хв за кімнатної температури). ХВПВ відмивали дистильованою водою та висушували у конвективній сушарці за температури

70°C до досягнення вологості 10—12%. Імобілізацію проводили шляхом поєднання розчину органічного комплексу біометалу з ХВПВ (гідромодуль (ГМ) 1:5). Суміш витримували 120 хв та висушували у конвективній сушарці за температури 50°C до досягнення вологості 10—12%. На рис. 1 наведено принципову схему отримання ФХІ на основі комплексів біометалів зі сполуками пробіотичного походження та ХВПВ.

Визначення ступеня десорбції комплексів із матриці ХВПВ. Ступінь десорбції органічних комплексів біометалів із матриці визначали шляхом індикації кількості білкових речовин, що перейшли у зовнішнє середовище екстрагенту від загального вмісту цих речовин у комплексі (%) реакцією з нінгідрином [14]. Для визначення ступеня десорбції органічних комплексів біометалів із ХВПВ як екстрагенти використовували воду дистильовану (ГМ 1:5, тривалість процесу 300 хв) та буферні системи, що відповідають рН середовищам відділів шлунково-кишкового тракту (ШКТ), зокрема шлунку (рН 1,2) і тонкого кишківника (рН 7,4). ФХІ витримували 120 хв у розчині з рН 1,2 при ГМ 1:5, після чого відділяли рідку фазу, додавали буфер з рН 7,4 та інкубували суміш протягом 180 хв при перемішуванні. Концентрацію білкових речовин у рідкій фазі суміші визначали через кожні 30 хв.

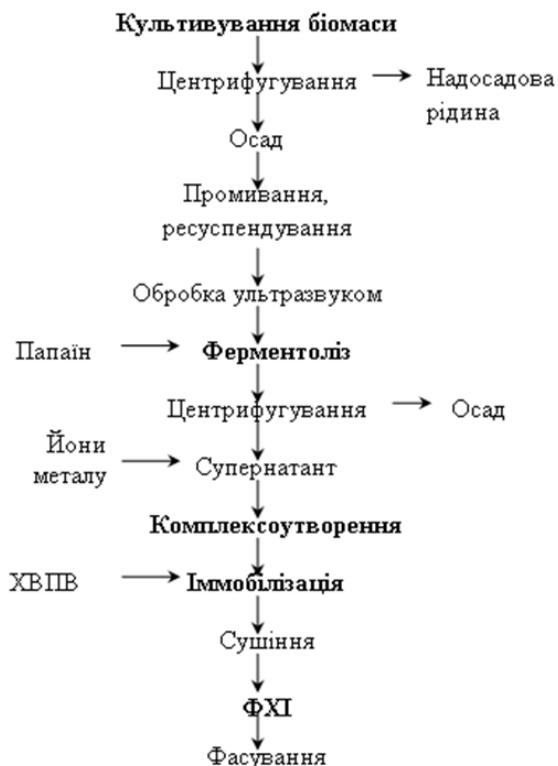


Рис. 1. Принципова схема отримання ФХІ на основі комплексів біометалів зі сполуками пробіотичного походження та ХВПВ

Абсолютну похибку вимірювань визначали за допомогою критерію Стюдента, довірчий інтервал $P=0,95$, кількість повторів у визначеннях 3—4, кількість паралельних проб дослідних зразків — 3.

Результати досліджень. Для утворення хелатних комплексів біометалів використовували біоліганди пробіотичного походження, а саме: продукти деградації пептидоглікану *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* В-3964. Деградацію пептидоглікану клітинних стінок БМ проводили за процедурою, наведеною вище. У результаті отримали суміш амінокислот, НМП та муропептидів, концентрація яких складає, відповідно, 10,24 мг/см³, 6,45 мг/см³ та 2,25 мг/см³. Комплексоутворювальну ємність змішанолігандних органічних систем щодо йонів металів досліджували методом нефелометрії — шляхом детекції нерозчинних форм карбонатів/гідроксидів металів, які утворюються при взаємодії вільних йонів металів з натрієм карбонатом після насичення системи лігандів біометалами і провокують помутніння. Визначення комплексоутворювальної ємності системи лігандів щодо конкретного біометалу дасть змогу отримати комплекс, в якому наявність металу в небажаній неорганічній формі унеможливиться. Результати дослідження наведено на рис. 2.

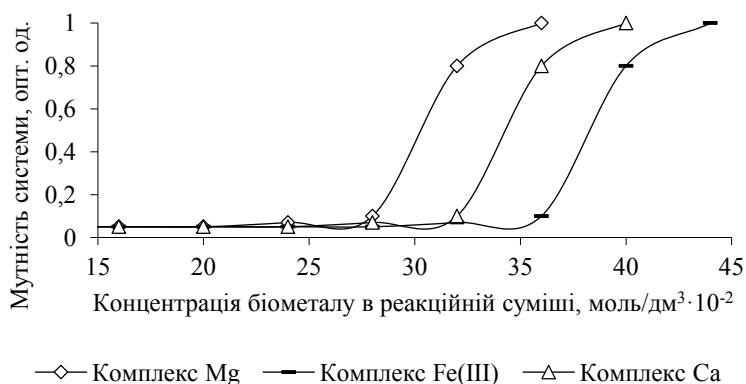


Рис. 2. Залежність мутності змішанолігандної системи пробіотичного походження від вмісту йонів біометалів за наявності Na_2CO_3

Як видно з рис. 2, мутність змішанолігандних систем за наявності йонів біометалів та Na_2CO_3 є мінімально стабільною (0,05 опт. од.) до досягнення в суміші певної концентрації металу. Для досліджуваних систем це значення має суттєву різницю. Так, стрімкий ріст мутності системи, що містить йони Mg^{2+} , має місце за концентрації їх у суміші 24 моль/дм³ · 10⁻², Ca^{2+} — 28 моль/дм³ · 10⁻², Fe^{3+} — 32 моль/дм³ · 10⁻². Така поведінка досліджуваних систем свідчить про те, що до досягнення цих концентрацій метал знаходиться у зв'язаному стані у складі змішанолігандних комплексів. Що унеможливує його взаємодію з наявним у системі натрієм карбонатом і появу нерозчинних частинок феруму гідроксиду або магнію/кальцію карбонату, які й обумовлюють помутніння системи.

Оскільки хелатні комплекси біометалів з продуктами переробки БМ *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* В-3964 планується використовувати як дієтичні добавки та функціональні харчові інгредієнти, доцільним є вивчення їхньої поведінки при різних значеннях рН середовища та температур. На рис. 3 зображено залежність стабільності комплексів від різних значень рН.

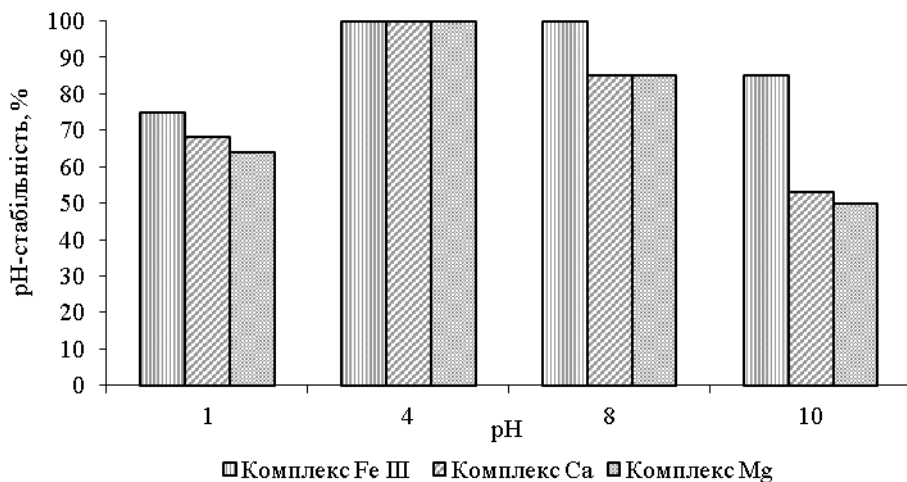


Рис. 3. рН-стабільність комплексів

З даних рис. 3 видно, що найбільшою стабільністю при різних значеннях рН володіє комплекс, утворений за участю Fe^{3+} . Комплексоутворювач Fe^{3+} має d^2sp^3 гібридизацію атомних орбіталей та може обумовлювати утворення октаедричної форми комплексу з біолігандами, що пояснює значну стабільність комплексів у середовищах із різною активністю йонів. Стабільність отриманого комплексу в інтервалі рН 8—10 дає змогу прогнозувати можливість наявності фери-йону у розчиненому стані в тонкому кишківнику, де й відбувається його абсорбція ентероцитами.

Комплекси Ca та Mg також є достатньо стабільними в широкому діапазоні рН. Так, за найбільш агресивних значень рН 1 та рН 10 стабільність комплексу Mg складає, відповідно, 64 та 50%, Ca — 68 та 53%. Достатньо високу стабільність отриманих комплексів можна пояснити тим, що змішанолігандні полідентантні системи обумовлюють стійкий «хелатний ефект», оскільки комплексоутворення металів з полідентантними лігандами є більш вигідним із позицій термодинаміки, порівняно з монодентантними лігандами. Стійкість хелатів при підвищених значеннях рН обумовлена також конкуренцією між іонами металу і протоном розчину за аніон хелатного ліганда. Отже, отримані хелатні структури стабільні в інтервалі значень рН середовищ, притаманним більшості харчових систем і систем травлення організму, що й обумовлює перспективність їхнього використання як складових дієтичних добавок та функціональних харчових інгредієнтів.

Задля прогнозування поведінки отриманих хелатних комплексів у складі харчових систем, які можуть піддавати температурній обробці, проведено їхній аналіз методом ДСК (табл.).

Таблиця. Термоєфекти і втрата маси при термогравіметричному дослідженні зразків

| Зразки | Інтервал температур, °С | Максимум, °С | Термоєфект | Втрата маси, % |
|--|-------------------------|--------------|---------------|----------------|
| Комплекс Са | 49—122 | — | — | 3,00 |
| | 122—178 | 140—145 | ендотермічний | 18,50 |
| Механічна суміш компонентів комплексу Са | 59—122 | — | — | 7,00 |
| | 122—178 | — | — | 16,00 |
| Комплекс Mg | 44—118 | — | — | 4,00 |
| | 118—173 | 139—143 | ендотермічний | 17,80 |
| Механічна суміш компонентів комплексу Mg | 55—120 | — | — | 6,25 |
| | 120—173 | — | — | 16,40 |
| Комплекс Fe (III) | 52—125 | — | — | 3,80 |
| | 125—180 | 140—145 | ендотермічний | 19,60 |
| Механічна суміш компонентів комплексу Fe (III) | 60—125 | — | — | 7,30 |
| | 125—180 | — | — | 17,50 |

При порівнянні даних аналізу ДСК можна констатувати, що початкова втрата маси комплексами починається за температури 44—52°C, зразками механічної суміші — при 55—60°C. Перша втрата маси не супроводжується тепловими ефектами, що свідчить про те, що за таких температур не відбувається руйнування хелатних зв'язків комплексів, яке може провокувати зміну ентальпії процесу та появу термоєфектів. У діапазоні температур 118—180°C спостерігається ендотермічна реакція при термічній обробці комплексів, причому термічних ефектів при обробці МС не спостерігається. Наявність ендотермічних термоєфектів на термограмах комплексів може свідчити про наявність у їхній структурі хелатних зв'язків, при руйнуванні яких відбуваються зміни ентальпії процесу.

Результати проведених досліджень дають змогу констатувати, що отримані металокомплекси є перспективними компонентами дієтичних добавок і функціональних харчових інгредієнтів, призначених для профілактики гіпоелементозів, адже містять у своєму складі метал у безпечній органічній (хелатній) формі, є стійкими у широкому діапазоні рН середовищ і температур.

Оскільки умови отримання комплексів передбачають використання розбавлених розчинів їхніх складових при розробленні технологій дієтичних добавок і харчових інгредієнтів на їхній основі, виникають проблеми концентрування та сушіння таких систем. При отриманні розчинних хелатних комплексів за запропонованою схемою вміст вологи може складати до 95%. Ці системи важко піддаються сушінню та є досить гідрофільними після висушування, що ускладнює їхнє зберігання та можливе дозування при додаванні до харчових систем. Окрім того, зважаючи на те, ефективні добові норми отриманих комплексів є досить низькими, може виникати проблема рівномірного розподілу такого функціонального харчового інгредієнту по всьому об'єму продукту. З метою позбавлення таких недоліків запропоновано проводити іммобілізацію отриманих комплексів на класичних матрицях — харчових волокнах пшеничних висівків (ХВПВ). Режими іммобілізації наведено вище, а на рис. 4 продемонстровано

закономірність десорбції комплексу Fe (III) з матриці ХВПВ при екстрагуванні водою та розчинами, що відповідають рН відділів ШКТ (закономірності десорбції комплексів Ca та Mg відповідають такій для комплексу Fe (III)).

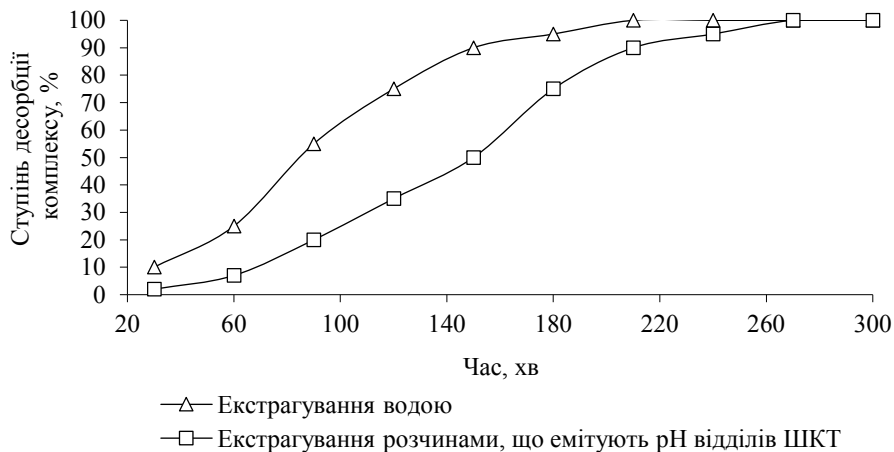


Рис. 4. Десорбція комплексу Fe (III) з матриці ХВПВ залежно від часу та виду екстрагенту

Характер вивільнення комплексу із матриці ХВПВ при екстрагуванні водою дистильованою та розчинами, що відповідають рН відділів ШКТ, дещо відрізняється. Більш інтенсивно відбувається десорбція комплексу при інкубації ФХІ з водою, повне його вивільнення має місце після 210 хв екстрагування. Десорбція органічної форми Fe (III) при екстрагуванні розчинами, що відповідають рН відділів ШКТ, у перші 120 хв інкубації відбувається доволі повільно (всього 35%, на противагу експерименту з водою — 75%). Повне вивільнення комплексу має місце після 270 хв екстрагування. Повільну десорбцію комплексу при низьких значеннях рН середовища (перші 120 хв експерименту) можна пояснити низькою водозв'язувальною здатністю ХВПВ за таких умов, що є певною перешкодою для вільного екстрагування комплексу. Повне вивільнення комплексу із матриці дає змогу припустити, що іммобілізація відбувається лише за рахунок фізичної сорбції. Час повної десорбції комплексу біометалу з матриці ХВПВ в обох експериментах відповідає уявленням щодо тривалості процесу транспортування харчової грудки із верхніх відділів ШКТ до місця поглинання біметалів ентероцитами тонкого кишківника.

Висновки

1. Результати досліджень свідчать про ефективність застосування полідендантних змішанолігандних систем пробіотичного походження для комплексотворення з біометалами.

2. Згідно з проведеними дослідженнями, отримані комплекси є стабільними у діапазоні рН середовищ, притаманним більшості харчових систем і системі травлення організму, що обумовлює перспективність їхнього використання як складових дієтичних добавок та функціональних харчових інгредієнтів.

3. Методом ДСК доведено, що отримані комплекси є стабільними в інтервалі температур 44—180°C, що надає можливість рекомендувати їх у як ФХІ для продуктів харчування, технологія яких передбачає високотемпературну обробку.

4. Обґрунтовано доцільність іммобілізації отриманих комплексів біометалів на ХВПВ. Доведено, що іммобілізація відбувається лише шляхом фізичної сорбції, що сприяє повному вивільненню активних складових у середовищах, що імітують рН тонкого кишківника, де й відбувається поглинання біометалів.

5. Наявність у складі досліджуваних ФХІ біометалів в органічній формі, низькомолекулярних муропептидів, що володіють високою імуноотропною активністю, ХВПВ, дає змогу віднести ці засоби до категорії поліфункціональних.

Перспективою подальших досліджень є вивчення фізіологічної активності отриманого ФХІ у досліді на тваринах.

Література

1. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія. Частина 1 / За ред. О. І. Черевка, М. І. Пересічного, 4-те вид., переробл. та допов. Х.: Харківський. держ. унів. харчув. і торгівлі, 2017. 940 с.

2. Каркищенко Н. Н. и др. Роль микроэлементов в спортивном питании и безопасность металлохелатов. *Биомедицина*. 2013. № 2. С. 12—41.

3. Jesse P. Goff. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101, No. 4. P. 2763—2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>

4. Шафран Л. М., Пыхтева Е. Г., Шитко Е. С. Система транспорта железа в клетках: физиология и токсикология поглощения из пищи энтероцитами кишечника. *Сучасні проблеми токсикології*. 2012. № 2. С. 5—16.

5. Круглов Д. С. Лекарственные средства применяемые для профилактики и лечения железодефицитных состояний. *Научное обозрение. Медицинские науки*. 2017. № 4. С. 26—41.

6. Николаева Л. С. Семенов А. Н., Бурова Л. И. Смешаннолигандное комплексообразование ионов кальция и магния с гепарином и глицином. *Журн. неорг. химии*. 2011. Т. 56, № 4. С. 689—696.

7. Щеглова Н. В. Печникова А. С. Шевченко А. И. Смешаннолигандные комплексы кобальта (III) с этилендиамином и этилендиаминтетрауксусной кислотой в водных растворах. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Вып. № 17, Т. 17. С. 56—59.

8. Золотухина Н. А. Комплексы переходных металлов с органическими лигандами. *Ползуновский вестник*. 2015. № 4, Т. 2. С. 58—60.

9. Verma Sh. Equilibrium study and Stability constants of mixed Ligand complexes of Biomolecules and Amino acids with Metal ions by Potentiometric method. *Research Journal of Chemical Sciences*. March 2015. Vol. 5 (3). P. 42—48.

10. Rabindra P., Mohan A. Synthesis and characterization of mixed ligand complexes of bio-metals with pyrimidine nucleoside (uridine) and amino acids. *Proc. Indian Acad. Sci. (Chem. Sci.)*. 2000. Vol. 112, No. 6. P. 593—600.

11. Gandham Hima Bindu, Gollapalli Nageswara Rao. Mixed ligand complexes of essential metal ions with L-glutamine and succinic acid in sodium dodecyl sulfate–water mixtures. *J. Serb. Chem. Soc.* 2012. № 77 (4). P. 453—463.

12. Chernov N., Kapustyan A. Immunological properties of the bacterial origin compounds. *Food science and technology*. 2016. V. 10 (3). P. 19—28. URL: [doi: http://dx.doi.org/10.15673/fst.v10i3.175](http://dx.doi.org/10.15673/fst.v10i3.175).

13. Traub S. MDP and other muropeptides — direct and synergistic effects on the immune system. *J. Endotoxin Res.* 2006. V. 12 (2). P. 69—85. URL: <https://doi.org/10.1179/096805106X89044>.

14. Капустян А. І., Черно Н. К., Пукас А. С. Розроблення методу визначення функціональних харчових інгредієнтів муropolіпідного походження у бактеріальних дезінтегратах. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 62. С. 157—164.

15. Биохимия белков: практикум для студентов биол. Фак. спец. 1-31 01 01 «Биология» / И. В. Семак, Т. Н. Зырянова, О. И. Губич. Минск: БГУ, 2007. 49 с.

16. Капустян А. І., Черно Н. К. Визначення комплексоутворювальної здатності змішано-лігандних органічних систем по відношенню до йонів металів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнології ім. С. З. Гжицького*. 2019. Т. 21. № 91. С. 130—135.

17. Mophan N., Vinitnantharat S., Somsook E. Enhancing iron (III) solubility using cassava and arrowroot starch. *Science Asia*. 2010. Vol. 36. P. 172—173.

УДК 637.5

STUDY OF STRUCTURAL PROPERTIES OF TRANSGLUTAMINASE IN SYSTEMS, CONTAINING PROTEIN

I. Shevchenko, G. Polishchuk, M. Filonenko, T. Osmak
National University of Food Technologies

Key words:

Milk proteins
Transglutaminase
Restructured ham
Meat systems

Article history:

Received 09.03.2020
Received in revised form
24.03.2020
Accepted 15.04.2020

Corresponding author:

I. Shevchenko
E-mail:
irinanuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of studies on the use of transglutaminase in the technology of restructured ham products as a functional drug that regulates the structure and functional and technological properties of protein-containing systems.

The purpose of the scientific work is to study the possibility of regulating the structure of restructured ham products by using the enzyme transglutaminase and milk proteins as substrates. The object of the study is the technology of restructured ham products. Research methods are standard. Structural-mechanical parameters were determined on the universal installation "Instron 1122".

The substrate specificity of the calcium-dependent enzyme microbial form, produced by *Streptovorticillium mobamense*, to protein preparation "Dripfreecas", sodium caseinate "Dairy Co" and dry buttermilk proteins was investigated. The influence of transglutaminase enzyme on the functional properties of meat systems with different combinations of milk proteins in their composition was studied. It has been found that transglutaminase form a protein matrix similar to the natural protein tissue of ham products, due to its ability to combine amino acids with animal proteins. It has been shown that formation of protein structure by fermentation gives an opportunity to produce heat-resistant systems and facilitate production of high quality meat products.

Salt-soluble proteins, which were extracted from meat raw materials, in combination with structure-forming components provide monolithic and strength to restructured products compared to the control sample. The influence of structure-forming components with transglutaminase and milk protein preparations on the functional and technological properties of meat systems has been confirmed. This provides an opportunity to predict the character of the structural components interaction and to regulate the quality of the product.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-2-22

ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАНСГЛЮТАМІНАЗИ У БІЛОКВІСНИХ СИСТЕМАХ

І. І. Шевченко, Г. Є. Поліщук, М. І. Філоненко, Т. Г. Осьмак
Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати досліджень щодо використання трансглютамінази в технології реструктурованих шинкових виробів як функціонального препарату, що регулює структуру та функціонально-технологічні властивості білоквісних систем.

Метою наукової статті є вивчення можливості регулювання структури реструктурованих шинкових виробів шляхом використання ферменту трансглютамінази та молочних білків-субстратів. Об'єкт дослідження — технологія реструктурованих шинкових виробів. Методи досліджень — стандартні. Структурно-механічні показники визначали на універсальній установці «Instron 1122».

Досліджено субстратну специфічність мікробіальної форми кальційнезалежного ферменту, що продукується бактеріями *Streptovorticillium tobamense* до білкового препарату «Dripfreecas», казеїнату напрію «Dairy Co» та білків сухої маслянки. Вивчено вплив ферменту трансглютамінази на функціональні властивості м'ясних систем з різними комбінаціями молочних білків у їх складі. Встановлено, що трансглютаміназа за рахунок здатності об'єднувати між собою амінокислоти білків тваринного походження утворює білкову матрицю, подібну природній білковій тканині шинкових м'ясних виробів. Доведено, що формування білкової структури шляхом ферментації надає можливість отримувати термостійкі системи і сприяє отриманню м'ясних продуктів високої якості.

Доведено, що солерозчинні білки, екстраговані з м'ясної сировини, у поєднанні зі структуроутворюючими компонентами забезпечують монолітність і міцність реструктурованим продуктам порівняно з контролем. Підтверджено вплив структуроутворюючих компонентів з трансглютаминазою та молочними білковими препаратами на функціонально-технологічні властивості м'ясних систем, що надає можливість прогнозувати характер взаємодії структуруючих компонентів і регулювати якісні показники продукту.

Ключові слова: молочні білки, трансглютаміназа, реструктуровані шинкові вироби, м'ясні системи.

Постановка проблеми. На споживчому ринку щороку з'являються все нові і нові пропозиції щодо застосування функціональних інгредієнтів для м'ясної промисловості. Тому особливо важливим є розуміння специфіки технологічних властивостей інноваційних харчових добавок, оскільки стандартних рекомендацій щодо їх використання для різних видів м'ясної сировини не існує.

Зокрема, мікробіальна трансглютаміназа (ТГ), яку отримують шляхом промислового культивування мікроорганізмів роду *Streptovorticillium sp.*, все ширше знаходить своє використання в харчовій промисловості, насамперед у таких галузях, як рибна, м'ясна, молочна та кондитерська [1; 2; 3].

З біохімічної точки зору, трансглютаміназа (γ -глутамілтрансфераза, EC 2.3.2.13) — це фермент, що утворює поперечні зшивки між білками за рахунок перенесення ацильної групи від первинного аміну до γ -карбоксаміду глутаміну, що зв'язаний з пептидом або білком, який сприяє утворенню ϵ -(глутаміл-)лізінової поперечної зшивки. Ця перша реакція, як правило, призводить до утворення ковалентної поперечної зшивки між глутаміном і лізином, що входить до складу білкових молекул. Завдяки такій дії трансглютаміназа здатна виконувати в м'ясних та інших харчових системах функцію текстуруючого компонента. Завдяки своїй типовій реакції трансглютаміназа має здатність впливати на текстуру, зв'язування та вихід білоквмісних харчових продуктів. Використовуючи вказану специфічну реакцію трансглютамінази, можна створювати нові продукти, забезпечувати їх стандартне порціонування і дозування та підвищувати рентабельність виробництва за рахунок раціонального використання високоцінної м'ясної сировини за збільшення виходу продуктів [3; 4]. Зважаючи на вказане, зроблено висновок про можливість і доцільність застосування ТГ у технології реструктурованих шинкових виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виробництві реструктурованих шинкових виробів безпечність використання ферментів полягає у їх білковій природі, зокрема денатурації під час теплового оброблення. Встановлено, що ферменти можна інактивувати за температури 65°C і вище [4].

У різних умовах ТГ по-різному реагує з окремими білками [5; 6]. Глибина реакції переважно визначається наявною доступністю глутаміну та лізину в білку, а також фактичними умовами реакції (значення рН, температура), які повинні відповідати певному діапазону активності ферменту. З цієї причини ферментні препарати, що містять ТГ, розробляють таким чином, щоб вони містили фермент і білок-субстрат у потрібному співвідношенні [7; 8].

Проте субстратна специфічність ферменту ТГ до білків, що мають харчове значення, та особливості використання ТГ в технології м'ясних продуктів, вивчені недостатньо. Не досліджено специфіку ферментативної дії ТГ щодо молочних білків різного фракційного складу у разі їх застосування у м'ясних продуктах, зокрема шинкових виробів. У літературі відсутні відомості щодо цілеспрямованого використання ТГ з метою отримання м'ясних продуктів із заданими властивостями, що є перспективним і потребує подальшого вивчення.

Метою дослідження є вивчення можливості регулювання структури реструктурованих шинкових виробів шляхом використання ферменту трансглютамінази та молочних білків-субстратів.

Методи і обладнання. При визначенні органолептичних, фізико-хімічних показників модельних фаршевих м'ясних систем використовували стандартні методи досліджень. Структурно-механічні показники визначали на універсальній установці «Instron 1122».

Для вдосконалення технології реструктурованих шинок з яловичини 1 сорту була використана мікробіальна форма кальційнезалежного ферменту, що продукується бактеріями *Streptovorticilliummobamense*, активністю 50 од/г порошку. Температурний діапазон активності ферменту ТГ становить від 0 до 65°C, оптимум хімічної активності досягається приблизно при 55°C. Денатурація ферменту ТГ починається за температури вище 65°C, а повна інактивація відбувається за температури 70...75°C. Фермент виявляє активність в інтервалі рН 4...9

за оптимуму значень рН 6...7. В активному центрі ферменту наявний цистеїновий залишок, тому за певних умов фермент може окислюватися.

Хоча трансклотаминаза не здатна до гелеутворення в суміші сироваткових і м'ясних білків під час нагрівання, вона стабілізує емульсії, виготовлені із суміші міофібрилярних та сироваткових білків, що використовуються як емульгатори. Подібні емульсії при нагріванні легко перетворюються у напівтверді змішані гелі, і цей процес підсилюється внаслідок утворення поперечних зшивок між мембранами жирових глобул.

На кафедрі технології м'яса і м'ясних продуктів Національного університету харчових технологій було вивчено функціонально-технологічні властивості ТГ у м'ясних систем за наявності ряду білкових і білоквмісних концентратів — казеїнату натрію «Dairy Co», сироваткового білкового препарату «Drip free cas» та сухої маслянки «Dairy Co» [2; 3]. Обрані білкові препарати характеризуються гарним органолептичним поєднанням з м'ясними виробами, низьким вмістом лактози та високим вмістом білка, мають високу розчинність, тому є перспективними для використання в м'ясній промисловості. Вони є хорошими емульгаторами, стабілізаторами структури та за своїми функціонально-технологічними властивостями наближаються до м'язових білків [5].

Викладення основних результатів дослідження. Однією з існуючих технологічних проблем при виробництві реструктурованих продуктів з яловичини є складність отримання монолітної цілісної структури та ніжної консистенції. Для вирішення цієї проблеми на практиці використовують широкий спектр структуруючих інгредієнтів, внесення яких призводить до зниження харчової цінності готової продукції. Використання казеїнату натрію «Dairy Co», сироваткового білкового препарату «Drip free cas» та сухої маслянки, що містить фосфоліпіди, дає змогу вирішити існуючі проблеми та збагатити м'ясні продукти додатковим джерелом високоцінного у структурі харчування молочного білка [9].

Важливо відзначити, що умови виробництва реструктурованих м'ясних виробів можна відрегулювати так, щоб реакційна здатність багатьох білків збільшилася за рахунок підвищення доступності глутаміну і лізину, що входять до їх складу, і відповідного збільшення швидкості реакції, що каталізується ферментом трансклотаминазою. З урахуванням вищезазначеного, в процесі вибору харчового білка, якому належить вступити в реакцію з ТГ, слід розглядати й оцінювати декілька його джерел. Відомо, що модифікація білків за допомогою ТГ зміцнює їхню розчинність, ступінь гідратації, термостабільність, а також реологічні властивості. Специфічність ТГ до того чи іншого білка залежить від молекулярної структури і фізико-хімічних властивостей субстрату [8; 9].

Для вирішення поставленого завдання було вивчено функціонально-технологічні властивості (ФТВ) гелевих систем, до складу яких як структурують компонентів увійшли в різній кількості фермент ТГ і молочні білкові препарати різної структурної конформації. Функціональні властивості зазначених структурують компонентів вивчали шляхом дослідження їхніх гелеутворюючих властивостей за показниками критичної концентрації гелів, граничного напруження зсуву та за результатами органолептичної оцінки. Для приготування зразків гелів використовували фермент ТГ у кількості 0,7...1,2%, казеїнат натрію — 2,0...6,0%, сироватковий білковий препарат — 2,0...6,0%, суху маслянку — 2,0...6,0%. Температура гелеутворення становила $18 \pm 2^\circ\text{C}$.

В утворених гелях також визначали кількість рідини, що відділялася під час зберігання при температурі $8 \pm 2^\circ\text{C}$ протягом 12 год. Підготовлені розчини з різною концентрацією структуруючих компонентів досліджували за структурно-механічними й органолептичними показниками. Як показали проведені дослідження, для отримання пружного гелю раціональним є такий склад модельних систем:

- зразок № 1 (фермент ТГ у кількості 0,65 ...0,70% та казеїнат натрію — 2,0...2,5%);
- зразок № 2 (фермент ТГ 0,75...0,80% та білковий препарат «Drip free cas» — 3,0...3,5 %);
- зразок № 3 (фермент ТГ 1,0...1,1% та суха маслянка — 3,0...3,5%).

За вказаних співвідношень структуруючі компоненти добре розчиняються у холодній воді та швидко утворюють гель. За меншої концентрації препаратів необхідно подовжувати час для гелеутворення, а утворена структура гелів є слабкою та неміцною. За підвищення концентрації препаратів гель, відповідно, більш структурований.

У менш концентрованих гелях після 12 год збереження відокремлювалася вільна волога, кількість якої збільшувалась зі зменшенням вмісту структуруючих компонентів. Проте гелі на основі композиції «фермент ТГ 0,7% + казеїнат натрію 2,5» виявляли найменший синерезис.

У процесі досліджень встановлено, що зі збільшенням вмісту структуруючих компонентів збільшується критична концентрація гелеутворення, що, у свою чергу, приводить до зростання граничної напруги зсуву (табл. 1).

Таблиця 1. Фізико-хімічні та структурно-механічні характеристики гелів

| Зразки | Критична концентрація гелеутворення, % | Граничне напруження зсуву, кПа | Масова частка відокремленої вологи, % (синерезис) |
|--|--|--------------------------------|---|
| № 1 (ТГ 0,7% + казеїнат натрію 2,5%) | 0,7±2,5 | 4,9±0,2 | 2,95±0,14 |
| № 2 (ТГ 0,8% + білковий препарат «Drip free cas» 3,0%) | 0,8±3,0 | 5,1±0,1 | 3,71±0,12 |
| № 3 (ТГ 0,9% + маслянка 3,5%) | 0,9±3,5 | 5,2±0,1 | 3,25±0,12 |

Граничне напруження зсуву становить для різних видів гелів 4,9...5,2 кПа, що знаходиться в межах значень, прийнятих для шинкових виробів в оболонці. Відповідно до результатів досліджень (табл. 1) зразки № 1, 2 та 3 мають стійкі до синерезису гелеві структури.

Для оцінки ступеня впливу ферменту ТГ та молочно-білкових препаратів різної структурної конформації на структурно-механічні властивості реструктурованих шинкових виробів досліджено зразки без заміни м'ясної сировини (контрольний зразок) та із заміною м'ясної сировини на структуруючі компо-

ненти у кількості 3,0%. Відповідно до рекомендацій виробників і функціональних властивостей ступінь гідратації молочно-білкових препаратів у воді питній було встановлено на рівні 1:4.

При вивченні структурно-механічних властивостей встановлено, що комплексне використання трансглютамінази та молочних білків суттєво підвищує міцнісні характеристики м'ясних систем з яловичини та термооброблених реструктурованих продуктів. Результати досліджень фізико-хімічних, структурно-механічних характеристик і виходу реструктурованих шинок з яловичини 1 сорту представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні, структурно-механічні характеристики та вихід реструктурованих шинок з яловичини 1 сорту в оболонці

| Показники | Зразки | | | |
|---------------------------------|-------------|--------------------------------------|---|------------------------------|
| | Контроль | №1 (ТГ 0,7 % +казеїнат натрію 2,5 %) | №2 (ТГ 0,8% + білковий препарат «Drip free cas» 3,0%) | №3 (ТГ 0,9% + маслянка 3,5%) |
| Вміст вологи, % | 67,83±1,34 | 74,26±1,21 | 73,58±1,28 | 73,61±1,22 |
| Вологоутримувальна здатність, % | 62,35±1,38 | 65,14±1,55 | 64,72±1,21 | 64,93±1,58 |
| Напруга зсуву, кПа | 189,86±1,42 | 204,85±1,18 | 204,49±1,2 | 203,83±1,33 |
| Зусилля різання, кПа | | | | |
| Вихід, % | 175,32±1,31 | 275,32±1,40 | 254,67±1,23 | 247,36±1,30 |
| Втрати маси при термообробці, % | 105,22±1,30 | 119,14±1,11 | 117,19±1,18 | 117,95±1,24 |
| | 15,35±1,13 | 8,64±1,06 | 9,67±1,02 | 9,94±1,00 |

Аналізуючи дані табл. 2, необхідно відмітити, що напруга зсуву як у модельних зразках реструктурованих продуктів з яловичини 1 сорту без заміни м'ясної сировини, так і в зразках із заміною м'ясної сировини змінюється залежно від складу структуроутворювача. При цьому структурно-механічні характеристики зразків без заміни м'ясної сировини були нижчими порівняно зі значеннями зразків, виготовлених з гідратованими молочними білковими препаратами за відповідного рівня введення трансглютамінази.

Максимальне значення вологоутримувальної здатності також властиве зразкам з ферментом ТГ і гідратованим препаратом казеїнатом натрію (65,14%). Зростання вологоутримувальної здатності модельних м'ясних систем із яловичини 1 сорту корелювало зі зниженням втрат маси під час термооброблення. Встановлено значне зниження втрат маси у дослідних зразків порівняно з контрольним зразком, що становить 15,35%. Найменші втрати маси при термообробці (8,64...9,94%) були властиві зразкам з 0,70% ферменту ТГ та 2,5% казеїнату натрію.

Внесення до складу модельних м'ясних систем з яловичини 1 сорту трансглютамінази та молочних білкових препаратів позитивно впливає на міцність їх структури в цілому. При цьому найбільш монолітними є структури з частковою заміною м'ясної сировини на гідратований препарат казеїнату натрію. На молекулярному рівні молочні білки зв'язують воду за рахунок утворення водневих

зв'язків всередині гідратованого білка, що сприяє підвищенню щільності продукту.

У разі використання ферменту ТГ та молочних білкових препаратів різної структурної конформації у модельних зразках з яловичини 1 сорту спостерігалось збільшення вологоутримувальної здатності, зниження втрат маси продукту при тепловому обробленні, покращення пластичних і пружних властивостей продукту.

Отже, стосовно питання специфіки ензиму ТГ до молочних білків можна стверджувати, що саме казеїн за структурної близькості до фібриногену є більш чутливим до зшивання трансглютаміназою порівняно із сироватковими білками. Це можна пояснити тим, що їхні білки менш схильні до реакції зшивання внаслідок глобулярної структури та наявності дисульфідних зв'язків. Однак подібного зшивання можна досягти за рахунок денатурації під час термічного оброблення [10; 11]. Вміст казеїну у сухій масляниці значно менший порівняно з молочно-білковим концентратом — казеїнатом натрію, тому технологічна ефективність маслянки нижча.

Серед молочних білків казеїнова фракція є кращим субстратом для ТГ у зв'язку з легкодоступною, гнучкою і відкритою структурою ланцюга порівняно з білками сироватки, які мають глобулярну структуру та менш доступні до реакції зв'язування, оскільки дисульфідні зв'язки стабілізують глобулярну конформацію, що обмежує доступність ділянок зв'язування.

Аналіз отриманих результатів дає змогу стверджувати, що солерозчинні білки, екстраговані з м'ясної сировини, у поєднанні зі структуроутворюючими компонентами забезпечують монолітність і міцність реструктурованим продуктам порівняно з контролем.

Вивчення впливу структуроутворюючих компонентів з ТГ та молочними білковими препаратами на функціонально-технологічні властивості м'ясних систем надасть можливість прогнозувати характер взаємодії структуруючих компонентів і регулювати якісні показники продукту.

Перспективи подальших досліджень полягають у використанні фермента трансглютамінази з метою заміни структуроутворюючих харчових добавок ферментом, що формує щільну консистенцію продукту за рахунок «зшивання» білкових молекул.

Висновки

1. Заміна до 3% яловичини 1 сорту на комплекс «трансглютаміназа+молочно-білковий концентрат» у модельних дослідних зразках позитивно впливає на міцність їх структури, при цьому найбільш монолітними є структури з частковою заміною м'ясної сировини на гідратований препарат казеїнату натрію.

2. Використання як структуруючих компонентів трансглютамінази та молочних білкових препаратів у модельних м'ясних системах з яловичини 1 сорту підвищує міцнісні характеристики реструктурованих продуктів. Напруга зсуву для дослідних зразків зростає на 7,4%...7,9%.

3. Серед обраних молочних білкових препаратів казеїнова фракція є кращим субстратом для ферменту ТГ у зв'язку з легкодоступною, гнучкою і відкритою структурою ланцюга порівняно з білками сироватки.

4. Застосування структуруючих компонентів (0,70% ферменту ТГ та 2,5% казеїнату натрію) у складі реструктурованих м'ясних продуктів підвищує їх термостабільність, сприяє формуванню монолітної та еластичної структури, покращує органолептичні характеристики.

Література

1. Ферменты в пищевой промышленности / Р. Дж. Уайтхерст (ред.), М. ван Оорт (ред.). СПб.: Профессия, 2013. 408 с.
2. Meat products. Scientific bases, technologies, practical recommendations / G. Feiner. english — publ: ID Profession, 2010. 720 p.
3. Ingredients in the production of meat products. Properties, functionality, applied / Tarte R. english — publ: ID Profession, 2015. 464 pp.
4. Prakasan V., Chawla S. P., Sharma A. Effect of transglutaminase treatment on functional properties of Paneer. *International journal of current microbiology and applied sciences*. 2015. Vol. 4, iss. 5. P. 227—238.
5. Ruiz-Carrascal J., Regenstein J. Emulsion stability and water uptake ability of chicken breast muscle proteins as affected by microbial transglutaminase. *J. of Food Science*. 2002. Vol. 67. P. 734—739.
6. Ахмичева О. В. Использование энзимов при производстве мясных изделий. *Мясная индустрия*. 2004, № 6.
7. Castro-Briones M., Calderon G. N., Velazquez G. and etc. Mechanical and functional properties of beef products obtained using microbial transglutaminase with treatments of pre-heating followed by cold binding. *Meat Science*. 2009. Vol. 83. P. 229—238.
8. Dimitralopoulou M. A., Ambrosiadis J. A., Zetou F. K., Bloukas J. G. Effect of salt and trasglutaminase (TG) level and processing condirions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. *Meat Science*. 2005. Vol. 703. P. 743—749.
9. Mugurama M., Tsuruoka K., Erwanto Y., Kawahara S., Yamauchi K., Sathe S. K., Soeda T. Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. *Meat Science*. 2003. Vol. 63. P. 191—197.
10. Ramirez-Suarez J. C., Xiong Y. L. Rheological properties of mixed muscle/nonmuscle protein emulsions treated with transglutaminase at two ionic strengths. *J. of Food Science and Technology*. 2003. Vol. 38. P. 777—785.
11. Kishenko I., Kryzhova Y., Filonenko M. Особенности использования трансклутаминазы в технологии реструктурированных ветчин. *Maisto chemijair tehnologija*. 2016. T. 50. Nr. 1. P. 12—19.

THE INFLUENCE OF MIXTURE OF GRAINS ON BASIC TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND QUALITY OF WHEAT BREAD

O. Bilyk, L. Burchenko, E. Halikova, A. Yoltukhivska

National University of Food Technologies

Key words:

*Mixture of germinated
grains
Wheat bread
Consumer properties
Nutritional value
Bread staling*

Article history:

Received 19.03.2020
Received in revised form
31.03.2020
Accepted 15.04.2020

Corresponding author:

O. Bilyk
E-mail:
bilyklena@gmail.com

ABSTRACT

The work is devoted to establishing the feasibility of using a mixture of germinated grains in the technology of bakery products made from wheat flour. The mixture of germinated grains contains wheat, barley, corn and oat, produced by the company “CHOICE” (Kyiv, Ukraine). It was found that the mixture of germinated grains has high autolytic activity and acidity, low whiteness and gray color.

Studies of the effect of the mixture of germinated grains on the quality of bakery products found that in the case of adding 5% of the mixture, the complex quality index is 94 points, in the case of using 10% — 85 points, and in the case of adding 15% — 72 points. That is, with increasing the introduction of the mixture the quality of wheat bread deteriorates, but at the same time nutritional value increases, namely: the content of minerals increases, the provision of vitamins (in particular thiamine) in wheat bread with 15% of the mixture reaches 70.0% of the daily need, which is 43.0% more than in the control sample.

Analysis of studies has shown that the introduction of a mixture of germinated grains into the dough system reduces the content of wet gluten in the dough from 23.6% to 20.1% when using 15% of the mixture. It has been found that the use of germinated grains reduces the dough kneading time and decreases its stability, reduces the duration of the dough rise by 6...17.0% compared to the control sample.

During storage the structural and mechanical properties of the crumb with a mixture of germinated grains decreased more slowly than in the control sample. Thus, after 72 h the degree of preservation of freshness of wheat bread from the mixture of germinated grains was 15...50% higher than in the control sample. This is due to the effect of active amylolytic enzymes, imported from the mixture of germinated grains, on the retrogradation of the bread crumb starch and increasing its hydrophilic properties, which allows the products to remain freshness for 24...72 hours.

ВПЛИВ СУМІШІ ПРОРОЩЕНИХ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ І ЯКІСТЬ ХЛІБА ПШЕНИЧНОГО

О. А. Білик, Л. М. Бурченко, Е. Ф. Халікова, А. В. Йолтухівська
Національний університет харчових технологій

У статті доведено доцільність використання суміші пророщених зерен у технології хлібобулочних виробів з пшеничного борошна. Суміші пророщених зернових культур має у своєму складі зерна пшениці, ячменю, кукурудзи, вівса компанії «CHOICE» (м. Київ, Україна). Встановлено, що суміші пророщених зерен має високу автолітичну активність і кислотність, характеризується низькою білістю та має сірий колір.

Дослідження впливу суміші пророщених зерен на якість хлібобулочних виробів підтвердили, що у разі внесення 5% суміші пророщених зерен комплексний показник якості становить 94 бали, 10% — 85 балів, 15% — 72 бали. Тобто зі збільшенням внесення суміші погіршуються показники якості хліба пшеничного, але при цьому встановлено підвищення харчової цінності. У виробках з 15% суміші пророщених зерен збільшується вміст мінеральних речовин, підвищується на 43,0% порівняно з контрольним зразком вміст вітамінів (зокрема тіаміну), що задовольняє добову потребу в них на 70%.

Аналіз досліджень показав, що внесення в тістову систему суміші пророщених зерен зменшує вміст сирової клейковини у тісті з 23,6% до 20,1% у разі використання 15% суміші. Завдяки використанню суміші пророщених зерен скорочується тривалість замішування тіста та зменшується його стійкість, скорочується тривалість підйому тіста, порівняно з контролем, на 6...17,0%.

У процесі зберігання показники структурно-механічних властивостей м'якушки із сумішшю пророщених зерен знижувалися повільніше, ніж у контрольному зразку. Так, через 72 год ступінь збереження свіжості хліба пшеничного із суміші пророщених зерен на 15...50% вищий, якщо порівняти з контролем. Це пояснюється впливом активних амілолітичних ферментів, внесених із сумішшю пророщених зерен на уповільнення ретроградації крохмалю м'якушки хліба та підвищення її гідрофільних властивостей, що дає змогу зберігати свіжість виробів впродовж 24...72 годин.

Ключові слова: суміші пророщених зерен, хліб пшеничний, споживчі властивості, харчова цінність, черствіння хліба.

Постановка проблеми. Здоров'я — головне багатство людини, її безцінний дар. Для забезпечення організму поживними речовинами, профілактики та лікування захворювань необхідно споживати харчові продукти, які збалансовані життєво необхідними інгредієнтами, зокрема амінокислотним складом білків, вмістом харчових волокон, вітамінів і мінеральних речовин [1].

Хліб посідає перше місце в споживчому кошику українців через свою поживну і біологічну цінність [2]. Процес черствіння знижує споживчі властивості хліба, зокрема органолептичні. Найбільш характерними ознаками черствіння є зміна аромату і смаку, підвищення жорсткості та зниження пружності як ско-

ринки і м'якушки окремо, так і цілого виробу. Тому підвищення харчової цінності та подовження тривалості зберігання хліба за рахунок нетрадиційної сировини є пріоритетним напрямом у вирішенні проблеми харчування людей.

Інноваційною нетрадиційною сировиною є суміш пророщених зерен, яка включає в себе чотири злакові культури: пшениця, ячмінь, кукурудза та овес. Кожна з цих культур має велику кількість поживних речовин для організму людини. Пророщені злаки передусім активізують захисні сили організму і запобігають різноманітним запаленням кишково-шлункового тракту. Особливо багато в паростках вітамінів групи В, Е, А та РР, а також хрому і літію, які є необхідними елементами для функціонування нервової системи. У пророщеному зерні у кілька разів збільшується вміст клітковини, ферменти знаходяться в активному стані, що є підґрунтям для подовження свіжості хлібобулочних виробів, у які вони внесені [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з тим, що під час виробництва сортового борошна цінні оболонки зерна й зародок повністю або частково видаляються, хоча містять життєво важливі мікроелементи і мінеральні речовини, вітаміни Е, РР, групи В, рослинні жири (не підвищують кількість холестерину), рослинний білок, а також речовини, що сприяють виведенню шлаків і токсинів з організму. Тому хлібобулочні вироби, які виготовлені з такого борошна, складаються в основному з крохмалю, який сам по собі в рафінованому вигляді важко засвоюється [4].

Проблеми підвищення харчової цінності хліба присвячено праці Л. Я. Ауермана, В. І. Дробот, В. Ф. Доценка, Л. Ю. Арсеньової, Т. Є. Лебеденко, В. А. Моргун, С. Я. Карячкіної, Н. П. Козьміної, В. Л. Кретовича, І. В. Матвєєвої, В. О. Патта, Л. П. Пашенко, Р. Д. Поландової, І. О. Попадич, Л. І. Пучкової, І. М. Ройтера, Т. Б. Циганової та інших. Серед основних способів підвищення харчової цінності хліба дослідниками виділені: зміна хімічного складу, поліпшення споживчих властивостей виробів шляхом удосконалення технології, використання цільно-зернового зерна. Проте складність і багатогранність проблеми зумовлює ряд невирішених завдань. Одним із основних завдань у технології виробництва борошняних виробів є пошук таких добавок, що разом з підвищенням харчової цінності готових виробів сприяють прискоренню технологічного процесу та підвищенню якості виробів [5].

Головними лімітуючими амінокислотами пшеничного борошна є лізин і треонін. У зв'язку з цим підвищення білкової цінності хліба — важливе завдання фахівців хлібопекарської галузі. Для підвищення біологічної цінності хлібних виробів необхідно збагачувати їх білками, багатими на лізин, метіонін, триптофан шляхом використання сумішей борошна різних зернових культур [6].

Доцільністю використання пророщених зернових культур у технології хлібобулочних виробів займалися такі науковці, як А. Ю. Веселова, Т. Н. Сафронова, В. В. Казина, С. Я. Корячкіна, Ю. Р. Рахматулліна та інші. Встановлено, що у разі пророщення в зерні відбуваються складні морфологічні перетворення, в результаті яких розвивається зародок і порушується клітинна структура ендосперму та активується дія ферментів, що призводить до перетворення складних речовин на прості [7].

Вода, яка проникає в середину зерна, створює гідратну оболонку навколо білків, що призводить до підвищення кількості ферментів, які, у свою чергу, розщеплюють всі молекулярні сполуки зерна. Першим розкладається резервний

білок, який знаходиться в клітинах ендосперму поблизу алейронового шару, до азотистих речовин, які є живленням для зародку [8].

Під час пророщування змінюється білковий склад зерна, збільшується ферментативна активність пептидаз, фосфатаз, що супроводжує збільшення вмісту амінокислот, зменшення загального вмісту жирів при збільшенні вмісту поліненасичених жирних кислот, зниження рівня нерозчинних харчових волокон при одночасному підвищенні розчинних харчових волокон, зниженні вмісту клейковини [9].

У результаті пророщення білок переходить в легко засвоювану форму, тобто збільшується вміст незамінних амінокислот, а за цінністю амінокислот пророщене зерно наближається до білків тваринного походження, що характеризує його кращу поживну цінність порівняно з простим зерном [10].

Спостерігається гідроліз жирів до гліцину і жирних кислот, у зв'язку з цим їх кількість зменшується у пророщеному зерні. Крохмаль під впливом ферментів перетворюється в цукор, який потім окислюється до вуглекислого газу і води з виділенням енергії, 10% якої витрачається на дихання, 3...4% — на побудову корінців і паростків, приблизно 10% залишається у вигляді цукру [9].

Під час пророщування збільшується вміст мінеральних речовин за рахунок засвоєння з води необхідних макро- і мікроелементів, формуються полірибосоми, які синтезуються білок та активізуються фітогормони, що прискорюють ріст і синтез вітамінів [10].

Аналізуючи результати визначення хімічного складу, слід зазначити, що у разі пророщення зменшується загальна кількість білків і жирів, у свою чергу, збільшується загальний вміст вуглеводів, мінеральних речовин та вітамінів.

Проблемі виробництва борошна підвищеної харчової цінності присвячено низку наукових публікацій. Автори [11] встановили можливість використання борошна з пророщеної пшениці, як альтернативи ферментним препаратам амілолітичної дії та солоду. До контрольного зразка з пшеничним борошном додавали 0,5% поліпшувачу або солоду, тоді як борошно з пророщеної пшениці додавали в кількості 2%. Підйомна сила тіста збільшилася завдяки збагаченню 1,5% борошна з пророщеної пшениці. Крім того, наявність борошна з пророщеної пшениці покращила кількість виділеного діоксиду вуглецю під час бродіння, внаслідок чого хліб мав високий питомий об'єм і подовжений термін зберігання. Додавання борошна з пророщеної пшениці може бути альтернативою ферментним поліпшувачам для поліпшення технологічної ефективності пшеничного борошна. У працях В. О. Моргун [6] висвітлено проблему створення технології сумішей із пшеничного, гречаного, ячмінного, вівсяного, тритикалевого, кукурудзяного та рисового борошна.

Отже, використання у технології хлібобулочних виробів суміші пророщених зерен на сьогодні є актуальним завданням.

Метою дослідження є удосконалення технології хлібобулочних виробів з пшеничного борошна вищого сорту з додаванням суміші пророщених зерен зернових культур.

Матеріали і методи. Матеріалом досліджень обрано суміш пророщених зерен ячменю, пшениці, кукурудзи та вівса компанії «СНОІСЕ» (м. Київ, Україна), тісто та хліб пшеничний з борошна вищого сорту.

Методи досліджень — органолептичні, фізико-хімічні, загальноприйняті та спеціальні, виконані з використанням сучасних приладів та інформаційних технологій [12].

Викладення основних результатів досліджень. Під час розробки рецептури хліба пшеничного як харчові волокна обрано суміш пророщених зерен ячменю, пшениці, кукурудзи та вівса компанії «CHOICE» (м. Київ, Україна).

На початку дослідження визначено органолептичні, фізико-хімічні й технологічні властивості суміші пророщених зерен ячменю, пшениці, кукурудзи та вівса (СПЗ). Отримані дані наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Показники якості і технологічні властивості суміші пророщених зерен, n=3, p≤0,05

| Показник | Вміст |
|--|---|
| <i>Органолептичні показники</i> | |
| Колір | Світло-коричневий |
| Запах | Характерний запах пророщених складових, без сторонніх запахів, не затхлий, не пліснявий |
| Смак | Солодкуватий, без сторонніх присмаків |
| Вміст мінеральних домішок | При розжовуванні не повинно відчуватися хрусту |
| <i>Фізико-хімічні показники</i> | |
| Масова частка вологи, % | 12,0 |
| Білість, ум. од. приладу | 33,0 |
| Кислотність, град | 9,0 |
| Крупність помелу, - залишок на ситі з шовкової нитки, № 35 згідно з ГОСТ 4403, % не більше | 2,0 |
| - залишок на ситі з дротяної сітки, згідно з ГОСТ 4403, % не більше | — |
| - прохід крізь сито, згідно з ГОСТ 4403, % не більше | 80,0 |
| <i>Технологічні властивості</i> | |
| Автолітична активність, % СР | 72,0 |
| Водопоглинальна здатність, г/г | 64,8 |

Встановлено, що СПЗ має високу автолітичну активність і кислотність, а також низьку білість та сірий колір. Отримані дані необхідно враховувати під час розроблення технологічних режимів виробництва хлібобулочних виробів. СПЗ володіють високою водопоглинальною здатністю, що може сприяти зв'язуванню вільної вологи, яка міститься в хлібобулочних виробах. Це є передумовою подовження зберігання свіжості хлібобулочними виробами.

Для визначення оптимального дозування суміші проводились пробні лабораторні випікання.

Тісто готували безопарним способом за рецептурою хліба пшеничного. СПЗ дозували в кількості 5, 10, 15% до маси борошна. Тривалість бродіння тіста — 20 хв. Замість тіста здійснювали на двошвидкісній тістомісильній машині, тривалість замісу 6 хв. Тістові заготовки масою 0,25 кг формували вручну у вигляді формового хліба. Вистоювання здійснювали у вистійній шафі за температури

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

35—40°C, тривалість вистоювання 50—60 хв. Випікання здійснювали у сте-лажній печі за температури 200...220°C упродовж 25...30 хв.

Дегустаційна комісія проводила оцінювання якості хліба за бальною оцінкою. Результати досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Показники якості пшеничного хліба, $n=3$, $p \leq 0,05$

| Показник | Коефі-цієнт ва-гомості | Контроль, без добавок | Дослідні зразки з СПЗ | | |
|---------------------------------|------------------------|--|---|--|-----------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| | | | 5% СПЗ | 10% СПЗ | 15% СПЗ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Правиль-ність форми | 1,5 | Хліб із помітно випуклою верхньою скоринкою | Хліб із куполоподібною верхньою скоринкою | | |
| | | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Колір скоринки | 2,0 | Золотисто-коричневий | | Темно золотистий | |
| | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 3,0 |
| Формо-стійкість | 2,5 | 0,44 | 0,47 | 0,37 | 0,35 |
| | | 4,8 | 5,0 | 3,4 | 3,0 |
| Питомий об'єм | 2,5 | 298,0 | 282,0 | 279,0 | 268,0 |
| | | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 2,6 |
| Стан поверхні скоринки | 1,5 | Бездоганно гладенька, без пухирців і тріщин, невеликий підрив, глянцева | | Гладенька, наявні маленькі пухирці і тріщини, наявність підриву, глянець слабкий | |
| | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 3,0 |
| Колір м'якушки | 1,5 | Дуже світлий | | Світлий | Із сіруватим відтінком |
| | | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 3,0 |
| Структура пористості | 1,0 | Пори дрібні, тонкостінні, бездоганно рівномірно розподілені по всій поверхні | | Пори дрібні та середні, тонкостінні, розподілені досить рівномірно | |
| | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 4,0 |
| Реологічні властивості м'якушки | 1,0 | Дуже м'яка, ніжна, еластична | | М'яка, еластична | Задовільно м'яка, ущільнена |
| | | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 3,0 |
| Аромат хліба | 1,5 | Інтенсивно виражений, властивий для хліба | | | |
| | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Смак хліба | 1,5 | Інтенсивно виражений, характерна хлібний | | Інтенсивно виражений, з легким присмаком суміші | |
| | | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 4,0 |
| Розжову-ваність м'якушки | 1,0 | Дуже ніжна, соковита, гарно розжовується | | Дуже ніжна, гарно розжовується | Трішки грудкується |
| | | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 3,0 |
| Кришку-ватість, % | 2,5 | 4,5 | 4,4 | 3,9 | 3,8 |
| | | 4,6 | 4,6 | 4,8 | 4,8 |
| Комплек-сний показник якості | | 92,5 | 94,0 | 85,0 | 72,0 |

Можна зробити висновок, що зразок з 5% внесеної СПЗ К=94 бали, має найкращий результат; хороші показники у зразка з 10% СПЗ К=85,0 балів, зразок з 15% СПЗ має найнижчий показник К=72 бали. Отже, з підвищенням рецептурної кількості СПЗ до 15% значно погіршуються органолептичні показники якості хліба пшеничного.

Подальші дослідження стосувалися впливу суміші пророщених зерен на кількість і якість клейковини тіста. В утворенні тістової системи беруть участь білки, крохмаль, пентозани та оболонкові частини, які при наявності води набухають.

Для встановлення впливу додання в тістову систему СПЗ на вміст у ній клейковини СПЗ дозували в кількості 5, 10, 15% до маси борошна. У дослідженнях використовували пшеничне борошно вищого сорту з клейковиною за якістю — хороша. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Кількість і якість клейковини тіста з внесенням суміші пророщених зерен, n=3, p<0,05

| Характеристика якості клейковини тіста | Контроль | Дослідні зразки з СПЗ | | |
|--|----------|-----------------------|------------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| | | 5% СПЗ | 10% СПЗ | 15% СПЗ |
| Колір | Світлий | Світло-сірий | | |
| Кількість клейковини сирої, % | 23,6 | 21,6 | 20,5 | 20,1 |
| Кількість клейковини сухої, % | 10,78 | 7,67 | 7,42 | 7,17 |
| Пружність, од. пр. | 53,5 | 52,0 | 49,6 | 49,0 |
| Розтяжність, см | 13,0 | 12,0 | 13,0 | 13,0 |
| Еластичність | хороша | | задовільна | |
| Масова частка вологи, % | 54,3 | 64,5 | 64,2 | 63,0 |
| Гідратаційна здатність, % | 188,0 | 182,0 | 179,0 | 170,0 |

Аналіз отриманих результатів показав, що у тісті з СПЗ вміст сирої клейковини зменшився з 23,6% до 21,6% у разі дозування 5% до маси борошна СПЗ, до 20,5 — у разі дозування 10% до маси борошна СПЗ, та до 20,1% — у разі використання 15% до маси борошна СПЗ. Це пов'язано зі збільшенням водорозчинних речовин у тісті, які швидше поглинають воду, ніж клейковинні білки, тому клейковини утворюється менше. Додання СПЗ незначно укріплює клейковину та зменшує гідратаційну здатність за рахунок підвищення кислотності тіста, що пов'язане з високою кислотністю СПЗ. Можливо, це також спричинено перерозподілом білкових фракцій клейковини у зв'язку з внесенням білків зерен пшениці, ячменю, вівса та кукурудзи.

Пружно-еластичні властивості тіста визначали за допомогою фаринографа фірми «Брабендер». У дослідженні використовували борошно пшеничне вищого сорту та 10% і 15% до маси борошна СПЗ. Отримані результати наведено в табл. 4.

Аналіз результатів дослідження фаринограм, наведених у табл. 4, показав, що з внесенням СПЗ водопоглинальна здатність не підвищується, однак скорочується тривалість замшування тіста. Тісто з СПЗ мало меншу стійкість і більше розрідження тістової системи порівняно з контролем. Так, стійкість тіста у разі

використання 10% та 15% СПЗ зменшується відповідно на 8 та 13 секунд. Розрідження, у свою чергу, збільшується, відповідно, на 54 та 76 од. пр.

Таблиця 4. Структурно-механічні властивості тіста з внесенням СПЗ за фаринографом, $n=2, p \leq 0,05$

| Показники | Контроль (борошно середнє за силою) | З 10% до маси борошна СПЗ | З 15% до маси борошна СПЗ |
|---|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Консистенція, од. приладу | 527 | 511 | 524 |
| Водопоглинальна здатність, см ³ /100 г | 57,2 | 55,5 | 53,9 |
| Тривалість утворення тіста, хв | 1 хв 33 с | 1 хв 30 с | 1 хв 20 с |
| Стійкість тіста, хв | 2 хв 23 с | 2 хв 15 с | 2 хв 10 с |
| Розрідження, од. пр., після 10 хв після початку | 80 | 134 | 156 |
| Коефіцієнт якості фаринографа, хв | 22 | 28 | 27 |

Для активізації процесу бродіння необхідно забезпечити дріжджі живленням. Для цього у тісті має бути активна амілаза. У пшеничному борошні активна бета амілаза. У разі внесення в тістову систему СПЗ в тісті буде активна альфа амілаза. Під дією амілаз крохмаль розкладається на мальтозу, яка є основним живленням дріжджів. Тож доцільно дослідити вплив внесення СПЗ у тістову систему на швидкість підйому тіста (рис. 1).

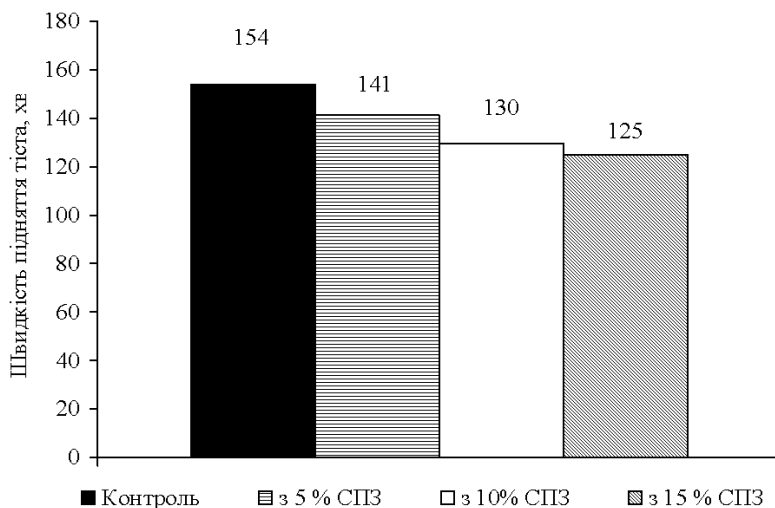


Рис. 1. Швидкість підйому тіста із сумішшю пророщених зерен

Доведено, що використання суміші пророщених зерен скорочує тривалість підйому тіста, порівняно з контролем, на 6...17,0%.

Термін «харчова цінність» відображає комплекс корисних якостей продукту, його здатність забезпечувати фізіологічні потреби організму в енергії та основних поживних речовинах — білках, вуглеводах, жирах, вітамінах, мінеральних речовинах, їх засвоюваність. У хлібі неоптимальне співвідношення білків і вуглеводів, кальцію і фосфору, недостатній вміст таких незамінних амінокислот, як

лізин, метіонін, триптофан. Харчова цінність залежить від хімічного складу продукту. Енергетична цінність хліба визначається особливістю його хімічного складу і залежить від виду, сорту борошна і рецептури.

В умовах розробки хлібобулочних виробів функціонального призначення доцільно дослідити вплив суміші пророщених зерен на споживчу та харчову цінність.

При зберіганні хлібобулочні вироби втрачають привабливість для споживача — відбувається усихання скоринки і підскоринкових шарів м'якушки. Це надає виробам жорсткості. Поряд з усиханням відбувається процес старіння колоїдних систем м'якушки, крохмалю і білків, хлібобулочні вироби черствіють. Вплив СПЗ на черствіння хлібобулочних виробів досліджували за зміною структурно-механічних властивостей м'якушки виробів. Дослідження виробів проводили через 4, 24, 48 т 72 год після випікання (табл. 5).

Таблиця 5. Зміна структурно-механічних властивостей м'якушки хліба з СПЗ

| Показники | Контроль (без добавок) | Внесено СПЗ, % до маси борошна | | |
|---|---------------------------|--------------------------------|----|----|
| | | 5 | 10 | 15 |
| <i>Деформація м'якушки, од. приладу через 4 год</i> | | | | |
| загальна | 86 | 88 | 88 | 90 |
| <i>через 24 год</i> | | | | |
| загальна | 58 | 64 | 66 | 68 |
| Ступінь збереження свіжості, % | 67 | 73 | 75 | 76 |
| <i>через 48 год</i> | | | | |
| загальна | 35 | 42 | 47 | 51 |
| Ступінь збереження свіжості, % | 44 | 48 | 53 | 57 |
| <i>через 72 год</i> | | | | |
| загальна | 22 | 26 | 28 | 35 |
| Ступінь збереження свіжості, % | 26 | 30 | 32 | 39 |

У процесі зберігання показники структурно-механічних властивостей м'якушки з СПЗ знижувалися повільніше, ніж у контрольному зразку. Так, через 72 год ступінь збереження свіжості контрольного зразка становить 26% відповідно, тоді як зразків з СПЗ — 30, 32 та 39%, що, відповідно, на 15...50% більше порівняно з контролем. Це пояснюється впливом активних амілолітичних ферментів, внесених з СПЗ, на уповільнення ретроградації крохмалю м'якушки хліба, що підвищує її гідрофільні властивості надає можливість зберігати свіжість виробів впродовж 24...72 год.

Харчову цінність нового виробу, порівняно з хлібом пшеничним з пшеничного борошна вищого сорту, оцінювали шляхом розрахунку хімічного складу.

Хімічний склад мінеральних речовин СПЗ досліджували розрахунково згідно з рекомендаціями про хімічний склад. У розрахунках було прийнято добову норму споживання хліба — 277 г, що встановлена законом України «Про прожитковий мінімум». Для порівняння харчової цінності розраховано зразки з 5, 10, 15% СПЗ. Результати наведені в табл. 6, 7, 8.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Таблиця 6. Хімічний склад 100 г хліба пшеничного

| Харчові речовини, % | Контроль | Зразки | | |
|------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | з 5% СПЗ | з 10% СПЗ | з 15% СПЗ |
| Білки | 7,60 | 9,25 | 10,90 | 12,55 |
| Жири | 0,80 | 1,61 | 2,42 | 3,23 |
| Вуглеводи | 49,20 | 60,66 | 72,12 | 83,58 |
| Зола | 1,70 | 2,13 | 2,56 | 2,99 |
| Мінеральні речовини, мг: | | | | |
| натрій | 378,00 | 383,20 | 388,40 | 393,6 |
| кальцій | 23,00 | 38,30 | 53,60 | 68,90 |
| фосфор | 73,30 | 142,45 | 211,60 | 280,75 |
| калій | 133,00 | 209,95 | 286,90 | 363,85 |
| магній | 33,00 | 58,15 | 83,30 | 108,45 |
| залізо | 2,00 | 3,10 | 4,20 | 5,30 |
| Вітаміни, мг: | | | | |
| тіамін (В ₁) | 0,16 | 0,24 | 0,32 | 0,40 |
| рибофлавін (В ₂) | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 |
| ніацин (РР) | 1,60 | 2,25 | 2,90 | 3,55 |
| Енергетична цінність, ккал | 234,40 | 294,13 | 353,86 | 413,59 |

Таблиця 7. Забезпечення добової потреби у харчових речовинах при вживанні 277 г хліба пшеничного

| Харчові речовини | Середня добова потреба | Міститься у 277 г хліба | | | |
|------------------------------|------------------------|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| | | Контроль (без суміші) | з 5% СПЗ | з 10% СПЗ | з 15% СПЗ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Білки, г | 67 | 21,05 | 25,62 | 30,19 | 34,76 |
| Жири, г | 68 | 2,22 | 4,46 | 6,70 | 8,95 |
| Вуглеводи, г | 392,00 | 136,28 | 168,03 | 199,77 | 231,52 |
| Мінеральні речовини, мг: | | | | | |
| кальцій | 1200,00 | 63,71 | 106,10 | 148,47 | 190,85 |
| фосфор | 1200,00 | 203,04 | 394,59 | 586,13 | 777,68 |
| калій | 3000,00 | 368,41 | 581,56 | 794,71 | 1007,86 |
| магній | 400,00 | 91,41 | 161,08 | 230,74 | 300,41 |
| залізо | 15,00 | 5,54 | 8,59 | 11,08 | 14,68 |
| Вітаміни, мг: | | | | | |
| тіамін (В ₁) | 1,60 | 0,43 | 0,66 | 0,89 | 1,12 |
| рибофлавін (В ₂) | 2,00 | 0,17 | 0,22 | 0,28 | 0,33 |
| ніацин (РР) | 22,00 | 4,43 | 6,23 | 8,03 | 9,83 |
| Енергетична цінність, ккал | 2300 | 687,51 | 814,74 | 980,19 | 1145,64 |

Таблиця 8. Забезпечення добової потреби у харчових речовинах при вживанні 277 г хліба пшеничного

| Харчові речовини | Середня добова потреба | Покриття добової потреби при вживанні 277 г хліба, % | | | |
|------------------|------------------------|--|----------|-----------|-----------|
| | | Контроль (без добавок) | з 5% СПЗ | з 10% СПЗ | з 15% СПЗ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Білки, г | 67,00 | 31,40 | 38,24 | 45,06 | 51,88 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Жири, г | 68,00 | 3,26 | 6,56 | 9,85 | 13,16 |
| Вуглеводи, г | 392,00 | 34,77 | 42,86 | 50,92 | 59,06 |
| Мінеральні речовини, мг: | | | | | |
| кальцій | 1200,00 | 5,31 | 8,84 | 12,37 | 15,90 |
| фосфор | 1200,00 | 16,92 | 32,88 | 48,84 | 64,81 |
| калій | 3000,00 | 12,28 | 19,39 | 26,50 | 33,61 |
| магній | 400,00 | 22,85 | 40,27 | 57,69 | 75,11 |
| залізо | 15,00 | 36,93 | 57,27 | 77,61 | 97,86 |
| Вітаміни, мг: | | | | | |
| тіамін (В1) | 1,60 | 26,88 | 41,25 | 55,63 | 70,00 |
| рибофлавін (В2) | 2,00 | 8,50 | 11,0 | 14,0 | 16,50 |
| ніацин (РР) | 22,00 | 20,14 | 28,32 | 36,5 | 44,68 |
| Енергетична цінність, ккал | 2300 | 29,89 | 35,42 | 42,62 | 49,81 |

Отже, в разі додання до рецептури хліба пшеничного суміші пророщених зерен підвищується його харчова цінність унаслідок збільшення в ньому мінеральних речовин. Забезпеченість вітамінів у третьому зразку сягає в тіаміну 70,0% від добової потреби, що на 43,0% більше від контрольного зразка. Забезпеченість такими необхідними мінеральними речовинами, як залізо, починаючи з першого зразка, перевищує 50,0% добової потреби, а починаючи з другого — перевищує і фосфор з магнієм.

Висновки

У результаті досліджень встановлено, що суміш пророщених зерен має високу автолітичну активність і кислотність, характеризується низькою білістю та має сірий колір. У разі внесення 5% суміші пророщених зерен у рецептуру хліба пшеничного комплексний показник якості становить 94 бали, 10% — 85 балів, 15% — 72 бали. Тобто зі збільшенням внесення суміші погіршуються показники якості хліба пшеничного, але при цьому встановлено підвищення харчової цінності: збільшується вміст мінеральних речовин, забезпеченість вітамінами (зокрема тіаміну) у хлібі пшеничному з 15% суміші пророщених зерен сягає 70,0% від добової потреби, що на 43,0% більше, ніж у контрольному зразку. У процесі зберігання показники структурно-механічних властивостей м'якушки із сумішшю пророщених зерен знижувалися повільніше, ніж у контрольному зразку. Так, через 72 год ступінь збереження свіжості хліба пшеничного з суміші пророщених зерен на 15...50% більше, порівняно з контролем. Це пояснюється впливом активних амілолітичних ферментів, внесених з СПЗ, на уповільнення ретроградації крохмалю м'якушки хліба та підвищення її гідрофільних властивостей, що забезпечує свіжість виробів упродовж 24...72 годин.

Отже, раціональна кількість СПЗ становить 10% до маси борошна. У разі збільшення дозування до 15% суміші рекомендовано використовувати хлібопекарські поліпшувачі.

Література

1. Антонов В. М. Хлеб из пророщенного зерна — гарант здоровья. *Хранение и переработка зерна*. 2003. № 12. С. 48—49.

2. Корячкина С. Я., Кузнецова О. М., Пигаррина О. М. Совершенствование технологии хлеба на основе целого зерна пшеницы и ржи: *Вестник ОГУ*. 2006. № 9. Ч. 2. С. 284—288.
3. Бурченко Л. М., Білик О. А., Бондаренко Ю. В., Передерій І. Г., Кочубей-Литвиненко О. В. Дослідження впливу суміші пророщених зерен на якість та харчову цінність хлібобулочних виробів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. Т. 6. № 3 (44). С. 42—47. Doi: 10.15587/2312-8372.2018.150602.
4. Махинько В. М., Махинько Л. В., Ященко О. М. Перспективи і проблеми виробництва зернового хліба. *Зберігання та переробка зерна*. 2018. № 2. С. 1—10.
5. Бондар І. П. Розроблення технології хліба з борошняних сумішей підвищеної харчової цінності : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.01. Київ, 2003. 20 с.
6. Моргун В. А., Жигунов Д. А, Крошко О. С. Пищевая ценность композиционных смесей из муки различных зерновых культур. *Хранение и переработка зерна*. 2005. № 11. С. 20—21.
7. Веселова А. Ю. Интенсификация предварительной подготовки злаковых культур в условиях разработки новой технологии. *Вестник НГИЭИ*. 2011. Т. 2. № 6 (7). С. 27—37.
8. Сафронова Т. Н., Казина В. В., Сафронова К. В. Разработка технологических параметров проращивания зерна пшеницы. *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 44. № 1. С. 37—43.
9. Рахматуллина Ю. Р. и др. Накопление витаминов В₁ и В₂ в пророщенном зерне. *Хлебопродукты*. 2012. № 9. С. 64—65.
10. Корячкина С. Я. и др. Совершенствование технологии хлеба из проросшего зерна пшеницы. *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права*. 2006. № 5. С. 372—376.
11. Gonçalves B., Box P., Alegre P., Gonçalves B. Microbial Enzymes as Substitutes of Chemical Additives in Baking Wheat Flour — Part II: Combined Effects of Nine Enzymes on Dough Rheology. *Food and function*. 2017. P. 32—40.
12. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навч. посіб. / за ред. чл.-кор. В. І. Дробот. Київ. 2015. 902 с.

EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF FLAX SEED HYDRATION IN THE WHEAT BREAD PRODUCTION

Yu. Bondarenko, H. Andronovych, A. Hryshchenko, A. Anych

National University of Food Technologies

Key words:

Flax seeds
Hydration
Dough
Gluten
Bread

Article history:

Received 11.03.2020
Received in revised form
25.03.2020
Accepted 16.04.2020

Corresponding author:

Yu. Bondarenko
E-mail:
bjuly@ukr.net

ABSTRACT

Flax seeds are a popular type of unconventional raw material for enriching bakery products with their physiologically active substances. The work is devoted to establishing the expediency of using pre-soaking golden flax seeds in the production of wheat bread. The optimal values of the soaking parameters according to the results of laboratory baking are set. It has been proved that it is expedient to carry out hydration of flax seeds at the hydromodule of seeds and water — 1:1—1:3. The duration of the operation can last up to 150 minutes. Probably, hydration of flax seeds at such parameters contribute to deeper swelling of seeds and transition of more slime-forming polysaccharides into the liquid phase of wheat dough. The use of pre-soaked flax seeds helps to increase the specific volume of bread and the crumb porosity. At the same time, flax seeds are better wrapped in gluten and more evenly distributed in the crumb. Due to this effect, the formation of a light crumb of bread is observed in comparison with the control sample, containing dry seeds.

It was found that the addition of soaked flax seeds leads to a decrease in the amount of wet gluten in wheat dough by 32% compared to the control sample, containing dry seeds. Dissolved polysaccharides are embedded in the gluten of the dough and prevent the formation of gluten structure. Violation of the integral structure of gluten causes a decrease in the extensibility of gluten and a decrease in its elasticity.

The study of the springy-elastic properties of wheat dough using farinograph showed, that the addition of hydrated flax seeds makes it possible to reduce the duration of dough formation and improve its stability. Stabilization of wheat dough by solutions of slime-forming polysaccharides due to preliminary soaking of flax seeds helps to improve the gas-holding and form-holding abilities of the dough.

ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ ГІДРАТАЦІЇ НАСІННЯ ЛЬОНУ У ВИРОБНИЦТВІ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

Ю. В. Бондаренко, Г. М. Андронович, А. М. Грищенко, А. М. Анич
Національний університет харчових технологій

Популярним видом нетрадиційної сировини для збагачення хлібобулочних виробів її фізіологічно-активними речовинами є насіння льону золотого, яке доцільно застосовувати після попереднього замочування. За результатами пробних лабораторних випікань у статті встановлено оптимальні значення параметрів замочування. Доведено, що гідратацію насіння льону варто проводити за гідромодуля насіння та води в межах 1:1—1:3, а тривалість операції може тривати до 150 хв. Гідратація насіння льону за таких параметрів сприяє глибокому набухання і переходу в рідку фазу тіста більшої кількості слизеутворюючих полісахаридів. Застосування попередньо гідратованого насіння льону сприяє збільшенню об'єму виробів і розпушенню структури м'якушки. При цьому насіння льону більш рівномірно розподіляється в м'якушці, краще огортається клейковинним каркасом, що візуально створює ефект світлішої м'якушки, порівняно з контролем із сухим насінням.

Встановлено, що внесення насіння льону в замоченому вигляді зумовлює зменшення кількості клейковини в тісті, порівняно з контролем із сухим насінням, на 32%. Розчини полісахаридів вклинюються в клейковинний каркас тіста та перешкоджають утворенню суцільної структури. Порушення цілісної структури клейковини зумовлює зменшення розтяжності клейковини та зниження її пружності.

Дослідження пружно-еластичних властивостей тіста на фаринографі підтвердили, що внесення гідратованого насіння льону дає змогу скоротити тривалість утворення тіста та покращити його стабільність. Стабілізація тістової системи розчинами слизеутворюючих полісахаридів унаслідок попереднього замочування насіння льону сприяє покращанню газоутримувальної та формоутримувальної здатності тістових заготовок.

Ключові слова: насіння льону, гідратація, тісто, клейковина, хліб.

Постановка проблеми. Основою здорового харчування населення є збалансованість раціону за всіма нутрієнтами, необхідними для належного функціонування організму. Сучасна людина споживає неповноцінні за хімічним складом продукти та не отримує достатньої кількості незамінних компонентів унаслідок значного застосування у виробництві харчових продуктів процесів технологічного оброблення сировини [1].

Численними епідеміологічними дослідженнями доведено зв'язок між харчуванням і розвитком серцево-судинних захворювань, злоякісних новоутворень, цукрового діабету другого типу, ожиріння, остеопорозу і багатьох інших захворювань [2].

З огляду на значення харчування в розвитку хронічних захворювань, рекомендації ВООЗ і лікарів, особливе значення і актуальність мають виробництво та підвищення споживання продуктів рослинного походження як джерела перш за все харчових волокон.

Для поповнення нестачі в раціоні харчових волокон, поліненасичених жирних кислот, білка, мінеральних речовин рекомендується вживати в їжу насіння льону і продукти його переробки. Щоденним продуктом харчування людини є хлібобулочні вироби. Для покращання функціональних властивостей та харчової цінності хлібобулочних виробів до їх рецептури доцільно включати насіння.

У торговельній мережі зараз можна знайти такі хлібобулочні вироби, збагачені насінням льону: хліб прибалтійський з насінням, хліб вівсяний з льоном, хліб з льоном, хліб тостовий з льоном, багет з льоном тощо. Однак аналіз рецептур цих виробів показав, що льон додають у невеликій кількості, що не надає виробам функціональних властивостей.

У Національному університеті харчових технологій встановлено, що технологічно можливим дозуванням насіння льону золотого для збагачення пшеничного хліба є до 15% до маси борошна [3]. При цьому було відзначено, що для покращання якості готових виробів з цілим насінням доцільно застосовувати технологічні заходи. На підприємствах хлібопекарської галузі у разі використання насіння льону у виробництві хлібобулочних виробів його замочують. Однак науково обґрунтованих даних щодо ефективності застосування у хлібопеченні цієї операції для насіння льону та її параметрів обмаль.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищений інтерес до льяного насіння обумовлений вмістом у ньому фізіологічно активних компонентів. Унікальність насіння льону в тому, що воно є джерелом одночасно трьох груп біологічно активних речовин, важливих для здоров'я людини: α -ліноленової кислоти (до 57% в складі олії), розчинних і нерозчинних харчових волокон [4, 5] і лігнанів [6].

Білки насіння льону представлені водорозчинними (від 46% до 65%), солерозчинними (від 16% до 28%) і лугорозчинними (від 13% до 17%) фракціями. Спирторозчинна фракція (проламіни) відсутня в складі льяного білка. Білки льону мають високу біологічну цінність, оскільки збалансовані за амінокислотним складом. За вмістом таких незамінних амінокислот, як валін, метіонін, лейцин, цистеїн, триптофан, треонін і фенілаланін вони не поступаються «ідеальному» білку. За даними бальної оцінки Всеросійського науково-дослідного інституту механізації льонарства харчова цінність білка з насіння льону становить 92 одиниці [7]. Дефіцитними для білків льяного насіння є лізин та ізолейцин [8].

Насіння льону є багатим рослинним джерелом життєво важливих ненасичених жирних кислот — лінолевої кислоти (омега-6) і α -ліноленової (омега-3). Ці есенціальні кислоти підвищують імунітет, зміцнюють еластичність стінок кровоносних судин, тому їх застосовують для лікування та профілактики атеросклерозу і кишкових захворювань [9].

Лігнани насіння льону відносяться до класу фітоестрогенів, проявляють естрогеноподібну активність в організмі людини. Наукові дані підтверджують, що лігнани насіння льону мають антиалергічну активністю та потужну антиоксидантну дію. Саме ці їхні властивості є підґрунтям для використання насіння льону в корекції атеросклерозу і коронарної серцевої недостатності [10].

Вуглеводи льону складаються з моносахаридів (від 0,04% до 0,06%), олигосахаридів (від 1,9% до 4,0%) і полісахаридів (від 6,2% до 9,5%). Особливістю вуглеводного складу насіння льону є те, що більшість вуглеводів представлено у вигляді розчинних харчових волокон — слизеутворюючих полісахаридів. В насінні льону також є нерозчинні харчові волокна. Вміст розчинних і нерозчинних волокон варіюється, зазвичай, у межах 20:80—40:60%. Донедавна вважалося, що слизі льону — це комплекс двох полісахаридів, які відрізняються один від одного за фізико-хімічними властивостями, такими як склад, молекулярна маса, структурна конформація, в'язкість. Основний слизеутворюючий полісахарид, що становить до 80% від загальної частки, є сумішшю арабіноксилана (56%) і галактоглюкана (44%). Мінорний компонент слизу (до 20%) — це гетерогенна група галактуронанів [11, 12]. Однак у 2003 р. група французьких біохіміків під керівництвом Ж. Варрау виявила в слизі насіння льону ще один полісахаридний компонент. Тож згідно із сучасними уявленнями слизі насіння льону являють собою суміш із трьох високомолекулярних полісахаридів: найбільш вузького нейтрального полісахариду з молярною масою $1,2 \cdot 10^6$ г/моль (75% від загальної кількості), двох кислих полісахаридів: з молекулярною масою $6,5 \cdot 10^5$ (3,75% від загальної кількості) та $1,7 \cdot 10^4$ (21,25% від загальної кількості) [13, 14].

Слизеутворюючі полісахариди характеризуються високою вологоутримуючою здатністю, що надає їм властивостей структуроутворювача та загущувача харчових систем [15]. Крім цього, важлива медико-біологічна роль полісахаридів насіння льону: вони сприяють зниженню глікемічного індексу, вмісту холестерину в крові; відзначено їх позитивний вплив у профілактиці діабету і зменшення ризику коронарної недостатності [16]. Вважається, що полісахариди насіння льону проявляють радіопротекторні та імунозахисні властивості [10].

Зважаючи на технологічні властивості полісахаридів насіння льону як структуроутворювача та їх фізіологічну важливість, вченими проводяться дослідження параметрів екстрагування слизів з насіння льону. Однак ці дослідження стосуються вилучення слизеутворюючих полісахаридів з насіння льону як сировинного інгредієнта. В умовах хлібопечення параметри, за яких відбуватиметься гідратація насіння льону для екстрагування водорозчинних полісахаридів, відрізнятимуться, адже умови проведення замочування обмежені кількістю води, що витрачається на замішування тіста. Це спонукало нас до проведення досліджень щодо встановлення оптимального гідромодуля насіння льону та води для проведення замочування й тривалості цього процесу, які були б ефективні саме для умов хлібопечення.

Метою дослідження є встановлення оптимальних для умов хлібопечення параметрів замочування насіння льону для використання у виробництві пшеничного хліба.

Матеріали і методи. У дослідженнях використовували насіння льону виробництва ТОВ «Біорозторопша» (Україна), сорт Золотий, який було внесено в реєстр сортів рослин України у 2005 році. Характерною його ознакою є жовтий колір насіння; в насінні міститься олії — 49,0...51,0% з високим вмістом ліноленої кислоти (понад 70%).

Для встановлення параметрів замочування насіння льону у виробництві пшеничного хліба проводили лабораторні випікання. Тісто готували безопарним способом з масовою часткою вологи тіста — 42%. Замішували тісто в двошвидкісній тістомісильній машині Escher. Оброблення тіста здійснювали вручну, вистоювання тістових заготовок проводили у термостаті за температури $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$ і відносній вологості $(78 \pm 2)\%$ до готовності. Вироби випікали в шафовій печі Sveba-Dahlen за температури 220...240°C.

Оцінку якості напівфабрикатів і готових виробів проводили за загальноприйнятими методиками [17].

Кількість та якість клейковини визначали за стандартними методиками [17]. Пружно-еластичні характеристики тіста вивчали на фаринографі фірми «Brabender» (Німеччина).

Для встановлення оптимальних параметрів замочування насіння льону для покращання якості пшеничного хліба, збагаченого насінням льону, готували дослідні зразки, в яких замочування проводили за гідромодулів насіння та води: 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, та зразки, в яких замочування проводили за різної тривалості — 60, 90, 120, 150, 180 та 210 хв.

Викладення основних результатів дослідження. Під час замочування насіння льону в рідку фазу переходять водорозчинні харчові волокна, які мають структуроутворюючі властивості та впливатимуть на формування якості хліба з додаванням замоченого насіння льону.

Відомо, що кількість слизів, яка утворюється під час контакту насіння льону з водою, залежить від параметрів замочування. За даними науковців, процес екстрагування відбувається ефективно за співвідношення насіння та води 1:20. Однак в наших дослідях кількість води, що витрачається для замочування насіння, залежить від загальної кількості води для замішування тіста. Тому для встановлення оптимального гідромодуля для замочування насіння льону були запропоновані такі співвідношення насіння та води: 1:1, 1:2, 1:3 та 1:4. Замочування насіння льону відбувалося протягом 60 хв, температура води для замочування становила 40°C. Дозування насіння льону у всіх зразках становило 15% до маси борошна.

Результати аналізу готових виробів, які випікали з тіста, замішаного з додаванням насіння льону, замоченого за різного гідромодуля, наведено в табл. 1.

Встановлено, що належну якість виробів отримано за умов замочування насіння та води у співвідношення 1:1—1:3. При цьому спостерігається збільшення об'єму хліба, покращання його формостійкості. Через розвинення об'єму виробів і розпушення структури м'якушки насіння льону більш рівномірно розподіляється в м'якушці. Відзначається, що в зразках із замочуванням насіння в структурі м'якушки виробу більше огортається клейковинним каркасом і краще утримується в ній, ніж у контролі. Внаслідок цього спостерігається формування більш світлої м'якушки, порівняно з контролем. Зі зростанням гідромодуля при

замочуванні насіння льону відзначається утворення більш тонкостінної пористості м'якушки.

Таблиця 1. Показники якості готових виробів, n=3, p≤0,05

| Показник | Результати вимірювання дослідних зразків | | | | |
|---|---|---|------|--|------|
| | Контроль із сухим насінням льону | Гідромодуль | | | |
| | | 1:1 | 1:2 | 1:3 | 1:4 |
| Питомий об'єм хліба, см ³ /г | 2,40 | 2,46 | 2,52 | 2,67 | 2,92 |
| Н/Д подового хліба | 0,42 | 0,52 | 0,58 | 0,49 | 0,45 |
| Стан поверхні | Правильна, гладка із включенням насіння льону, без тріщин і підривів | | | | |
| Колір скоринки | Світло-жовтий | Більш виражений, яскравий світло-жовтий порівняно з контролем | | Світло-жовтий, наближений до золотистого | |
| Стан м'якушки | Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці нерівномірно, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці рівномірно, спостерігається міцний зв'язок насінин з м'якушкою | | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці рівномірно, дуже тонкостінна, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | |
| Смак і аромат | Властивий хлібу, під час розжовування відчувається насіння льону, притаманний горіховий аромат, відчувається олійний присмак | | | | |

У разі застосування гідромодуля насіння та води 1:4 отримують вироби найбільшого об'єму, однак м'якушка цих виробів має дуже тонкостінну пористість, що погіршує утримання нею насінин. Структура пористості нерівномірна.

Наступним етапом було встановлення тривалості замочування насіння льону. За літературними джерелами відомо, що на кількість екстрагованого слизу з насіння льону і його якість суттєво впливає тривалість замочування.

У проведених дослідженнях замочування насіння льону проводили протягом 60, 90, 120, 150, 180 та 210 хв. Дозування насіння льону у всіх зразках становило 15% до маси борошна. Результати аналізу готових виробів наведено в табл. 2.

Встановлено, що зі зростанням тривалості замочування до 150 хв якість виробів з додаванням замоченого насіння льону покращується, порівняно з контролем. Найкращу якість готових виробів отримано за тривалості замочування 150 хв, оскільки цей зразок має найбільший об'єм, формостійкість і задовільну структуру м'якушки. У разі подовження тривалості замочування об'єм виробів знижується, порівняно зі зразком із замочуванням 150 хв, хоча все ж залишається більшим за контрольний зразок. Однак у разі подовження тривалості замочування понад 150 хв спостерігається погіршення формування структури м'якушки, зокрема нерівномірний розподіл у ній насіння льону та її ущільнення.

Таблиця 2. Показники якості готових виробів, n=3, p<0,05

| Показник | Результати вимірювання дослідних зразків | | | | | | |
|---|---|---|------|------|--|------|------|
| | Контроль із сухим насінням льону | Тривалість замочування, хв | | | | | |
| | | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 |
| Питомий об'єм хліба, см ³ /г | 2,41 | 2,62 | 2,65 | 2,69 | 2,71 | 2,65 | 2,66 |
| Н/Д подового хліба | 0,35 | 0,40 | 0,43 | 0,46 | 0,46 | 0,50 | 0,46 |
| Стан поверхні | Правильна, гладка із включенням насіння льону, без тріщин і підривів | | | | | | |
| Колір скоринки | Світло-жовтий | Більш виражений, яскравий світло-жовтий | | | Золотистий | | |
| Стан м'якушки | Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці нерівномірно, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці рівномірно, спостерігається міцний зв'язок насінин з м'якушкою | | | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону розподілене по м'якушці нерівномірно, недостатній зв'язок насінин з м'якушкою | | |
| Смак і аромат | Властивий хлібу, під час розжовування відчувається насіння льону, притаманний горіховий аромат, відчувається олійний присмак | | | | | | |

Для підтвердження ефективності обраних параметрів процесу гідратації насіння льону було проведено пробне лабораторне випікання, за якого дозування насіння льону становило 15%, гідромодуль 1:3, тривалість гідратації 150 хв. Для порівняння паралельно випікали контроль із внесенням сухого насіння льону за такого ж дозування. Кількість води вносилась однакова в обох зразках.

Результати аналізу готових виробів наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Показники якості готових виробів, n=3, p<0,05

| Показники | Результати вимірювань дослідних зразків хліба | |
|---|--|---|
| | Контроль із сухим насінням льону | Дослідний зразок із гідратованим насінням льону |
| 1 | 2 | 3 |
| Питомий об'єм хліба, см ³ /г | 1,82 | 2,47 |
| Н/Д подового хліба | 0,40 | 0,45 |
| Стан поверхні | Правильна, гладка із включеннями насіння льону, без тріщин і підривів | Правильна, гладка із включеннями насіння льону поверхні, без тріщин і підривів |
| Колір скоринки | Світло-жовтий | Золотистий |
| Стан м'якушки | Колір кремовий, забарвлення рівномірне, насіння льону грубо включене; в розрізі насінини — сухі. М'якушка дрібнопориста, еластична, швидко відновлюється після натискання. | Колір світлий, забарвлення рівномірне, насіння льону рівномірно розподілене по всій структурі м'якушки. М'якушка пружна, еластична, швидко відновлюється після натискання. Пористість тонкощинна. Насіння міцно включене в структуру м'якушки |

| 1 | 2 | 3 |
|---------------|--|--|
| Смак і аромат | Властивий хлібу, характерний, горіховий, відчувається характерний олійний присмак. Насіння льону трохи жорсткувате під час розжовування. | Властивий хлібу, характерний, горіховий, відчувається характерний олійний присмак. Насіння льону легко розжовується. |

Встановлено, що у разі застосування обраних параметрів питомий об'єм хліба підвищується на 36%, покращується формостійкість виробів. Скоринка виробу набуває золотистого кольору, насіння льону рівномірно розташувалося на поверхні виробу, на відміну від контролю, в якому насіння було розташоване досить хаотично. М'якушка в дослідному зразку, порівняно з контролем, більш еластична та пружна, насіння льону краще з'єднане з тістовою системою. Під час органолептичної оцінки було встановлено, що насіння льону в дослідному зразку набагато приємніше розжовуються за рахунок набухлості.

Оскільки під час випікання готових виробів з додаванням насіння льону у замоченому стані спостерігалось покращання об'єму виробів, було цікаво, як застосування операції замочування вплине на кількісні та якісні показники клейковини.

Для встановлення впливу насіння льону на кількість сирої клейковини та її якість відмивали клейковину з тіста. Результати дослідження наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Показники якості клейковини, n=3, p<0,05

| Показники | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|--------------------------------------|--|--------------|
| | Сухого | Замоченого |
| Кількість сирої клейковини, % | 23,7 | 16,0 |
| Вологість, % | 66,3 | 68,0 |
| Гідратаційна здатність, % | 196 | 213 |
| Пружність за приладом ИДК, од. прил. | 57 | 65 |
| Розтяжність, см | 12 (середня) | 10 (коротка) |
| Еластичність | Хороша | Задовільна |
| Колір | Сіруватий відтінок | Сіра |
| Характеристика структури | Має ознаки рихлості | Рихла |

За результатами досліджень було встановлено, що у разі замочування насіння льону спостерігається зменшення кількості клейковини, порівняно з відповідним зразком без замочування, на 32%. Причиною зменшення кількості клейковини може бути висока водопоглинальна здатність некрохмальних полісахаридів льону, які є конкурентами білка, внаслідок цього клейковинні білки борошна недостатньо набрякають. Це призводить до зменшення кількості сирої клейковини. Поряд з цим під час замішування тіста слизеутворюючі полісахариди льону огортають білкові речовини борошна, обмежуючи їх набухання та, вклинюючись у клейковинний каркас, перешкоджають утворенню суцільної структури клейковини. Слизі здійснюють вплив на розрив дисульфідних зв'язків у клейковинних білках.

Також потрібно відзначити, що переважаючим компонентом білкового комплексу насіння льону є водорозчинні білки. На другому місці по масовій частці в льоні знаходяться солерозчинні білки, частка яких становить 40...45% від загального вмісту білків льону. Частка лугорозчинних білків льону становить до 10% від загальної суми білків.

Білки льону, незважаючи на наявність у них певної частки проламінової і глютелінової фракцій, не здатні до самостійного формування губчастого клейковинного каркасу, характерного для тіста із сортового пшеничного борошна. Внаслідок їх взаємодії зі складовими борошна утворюються фракції, які втрачаються під час відмивання клейковини.

Складові насіння льону поряд з впливом на кількість клейковини здійснюють значний вплив на її якість. Порушення цілісної структури клейковини зумовлює зменшення розтяжності клейковини та зниження її пружності. У разі внесення замоченого насіння льону спостерігається підвищення гідратаційної здатності клейковини. Напевне, це зумовлено включенням в прошарки клейковини розчинів некрохмальних полісахаридів у вигляді в'язких гелів.

За зовнішнім виглядом, у разі додавання гідратованого насіння льону, клейковина набувала рихлої незв'язаної структури. Такий вплив гідратації насіння льону на клейковину тіста спонукав дослідити зміну структурно-механічних властивостей тіста, які визначали за допомогою фаринографа фірми «Брабендер». Результати розшифрування фаринограм наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Структурно-механічні властивості тіста за фаринографом, n=3, p≤0,05

| Показники | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|--|--|------------|
| | сухого | замоченого |
| Консистенція, од. приладу | 500 | 500 |
| Тривалість утворення, хв | 12,5 | 4,5 |
| Еластичність, од. приладу | 130 | 120 |
| Стабільність, хв | 8 | 12 |
| Розрідження протягом замісу, 15 хв од. приладу | 25 | 30 |

Аналіз даних (табл. 5) показує, що у разі замочування цілого насіння льону тривалість утворення тіста становить 4,5 хв проти 12,5 хв для зразка з цілим насінням льону, внесеним у сухому вигляді.

Скорочення тривалості утворення тіста, напевне, пояснюється тим, що попередньо замочене насіння льону потребує менше часу для його набухання та включення в тістову систему. У зразку із замочуванням, внаслідок попереднього гідратування насіння, вже утворюються розчини слизів, які під час змішування тіста відразу включаються в процеси структуроутворення тістової системи.

Отримані дані свідчать, що у зразку тіста з гідратованим насінням льону дещо погіршується еластичність. Поряд з цим спостерігається подовження тривалості стабільності тістової системи та зменшення її розрідження. Напевно, це зумовлено в'язкими розчинами водорозчинних слизеутворюючих полісахаридів, які включаються в структуру тіста та здатні за структурувати систему. Можна спрогнозувати, що застосування операції замочування у разі використання в рецептурі насіння льону дасть змогу покращити стійкість тістової системи та

дещо нівелювати негативний вплив сухого насіння льону на формування об'єму виробів.

Зважаючи на характеристики тіста, отримані за фаринографом, можна передбачити, що у разі застосування насіння льону в замоченому вигляді можливо покращити газотримувальну здатність тіста.

Під час проведення досліджень газотримувальну здатність тіста характеризували величиною питомого об'єму тіста через 4 год його бродіння. Підготовлені зразки тіста масою 100 г поміщали в циліндр об'ємом 500 см³, ущільнювали його і ферментували за температури 30°C. Об'єм тіста визначали кожну годину ферментації.

Результати досліджень наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Об'єм тіста в циліндрі, см³, n=3, p<0,05

| Тривалість бродіння, хв | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|-------------------------|--|------------|
| | сухого | замоченого |
| 0 | 100 | 100 |
| 60 | 180 | 210 |
| 120 | 270 | 285 |
| 180 | 270 | 290 |
| 240 | 260 | 285 |

Встановлено, що на 4 год об'єм тіста з гідратованим насінням льону збільшується, якщо порівняти із зразком без замочування на 9,5%. Це свідчить про покращання газотримувальної здатності внаслідок стабілізації тістової системи розчинами слизеутворюючих полісахаридів, які знаходяться в прошарках тіста.

У результаті дослідження впливу гідратованого насіння льону на в'язкість тіста за розпливанням кульки тіста протягом трьох годин бродіння за температури 30°C (табл. 7) було встановлено, що внесення насіння в замоченому стані зумовлює менше розпливання тіста на 4%, порівняно зі зразком із сухим насінням. У цьому випадку визначний вплив має полісахаридний комплекс слизу. Слизі, що екстрагуються з насіння жовтого кольору, характеризуються переважанням у своєму складі нейтральної фракції полісахаридів. Головною складовою нейтральної фракції є пентозан-арабіноксилан, вміст якого обумовлюється вмістом ксилози і арабінози. Наявність ксилози має визначну роль у формуванні в'язкості системи, з її збільшенням підвищується в'язкість розчину, тому у разі внесення замоченого насіння льону в рідкій фазі тістових систем буде підвищуватися в'язкість.

Таблиця 7. Розпливання кульки тіста, мм, n=3, p<0,05

| Тривалість, год | Контроль | Внесено насіння льону, 15% до маси борошна | |
|-----------------|----------|--|--------|
| | | сухого | сухого |
| 0 | 40 | 40 | 40 |
| 1 | 72 | 62 | 62 |
| 2 | 80 | 81 | 75 |
| 3 | 82 | 83 | 75 |

Зменшення розпливання тістових заготовок свідчить про збільшення в'язкості тіста, що зумовлює підвищення формоутримувальної здатності тістових заготовок і сприяє покращанню формостійкості подових виробів.

Висновки

За результатами пробних лабораторних випікань доведено доцільність застосування операції замочування насіння льону у виробництві пшеничного хліба. Встановлено оптимальні значення параметрів замочування насіння льону. Гідратацію насіння льону доцільно проводити за гідромодуля насіння та води в межах 1:1—1:3 і тривалості операції до 150 хв. Внаслідок гідратації насіння льону за таких параметрів відбувається більш глибоке набухання насіння та перехід у рідку фазу тіста такої кількості слизеутворюючих полісахаридів, що позитивно впливає на формування якості готових виробів. В'язкі розчини полісахаридів мають здатність до структуроутворення, чим покращують на 36% об'єм готових виробів, їх формостійкість та сприяють кращому розпушенню структури м'якушки. При цьому насіння льону більш рівномірно розподіляється в м'якушці, краще огортається клейковинним каркасом, що візуально створює ефект світлішої м'якушки, порівняно з контролем із сухим насінням. Встановлено, що внесення насіння льону в замоченому вигляді, порівняно з контролем із сухим насінням, зумовлює зменшення кількості клейковини в тісті на 32% та її розтяжності, зниження пружності клейковини. Внесення гідратованого насіння льону дає змогу скоротити тривалість утворення тіста, покращити його стабільність. газоутримувальну та формоутримувальну здатності тістових заготовок.

Література

1. Батурын А. К., Мендельсон Г. И. Питание и здоровье: проблемы XXI века. *Пищевая промышленность*. 2008. № 5. С. 10—11.
2. Драгун Т., Броунс Ф. Технологии здорового питания. *Пищевая промышленность*. 2005. № 5. С. 11—15.
3. Андронович Г., Бондаренко Ю. Дослідження впливу насіння льону білого на якість пшеничного хліба // 84 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 23—24 квітня 2018 р. К.: НУХТ, 2018 р. Ч. 1. С. 166.
4. Enzifst L., Vveo E. Flaxseed (Linseed) fibre — nutritional and culinary uses — a review. *Food New Zealand*. 2014. Issue april/may. P. 26—28.
5. Ganorkar P. M., Jain R. K. Flaxseed — a nutritional punch. *International Food Research Journal*. 2013. № 20 (2). P. 519—525.
6. Touré A., Xueming X. Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Sciences and Food Safety*. Institute of Food Technologists. 2010. № 9 (3). P. 261—269.
7. Султаева Н. Л., Перминова В. С. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2015. Т. 7. № 1. С. 1—15.
8. Зубцов В. А., Миневиц И. Э. Биологические и физико-химические основы использования льняной муки для разработки хлебобулочных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2011. № 3. С. 10—13.
9. Пашенко Л. П., Коваль Л. А., Пашенко В. Л. Функциональные свойства семян масличного льна. *Успехи современного естествознания*. 2006. № 10. С. 98—99.

10. Шалтумаев Т. Ш., Могильный М. П., Сигарева М. А. Использование продуктов переработки семян льна для производства изделий повышенной пищевой ценности. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2015. № 5—6. С. 42—45.
11. Priyanka K., Alka Sh., Dev R. S. Flaxseed — a potential functional food source. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 52. P. 1857—1871.
12. Оленников Д. Н., Танхаева Л. М. Исследование процесса экстракции полисахаридов семян льна (*Linum usitatissimum L.*). *Химия растительного сырья*. 2007. № 4. С. 79—83.
13. Warrand J., Michaud P., Muller G., Courtois D., Ralainirina R., Coirtois J. Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of a new anionic polymer. *Chromatographia*. 2003. Vol. 58. № 5—6. P. 331—335.
14. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., Courtois B., Ralainirina R., Courtois J. Structural investigation of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum L.* seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2005. Vol. 35. № 3—4. P. 121—125.
15. Farhat R., Zaheer Ah., Sarfraz H., Jen-Yi H., Asif Ah *Linum usitatissimum L.* seeds: Flax gum extraction, physicochemical and functional characterization. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 215, 1 July 2019. P. 29—38.
16. Gutte K. B., Sahoo A. K., Ranveer R. C. Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2015. Vol. 31 (1). P. 42—51.
17. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навчальний посібник / за ред. чл.-кор. В. І. Дробот. Київ: НУХТ, 2015. 902 с.

THE SOFT WHEAT FLOUR USAGE IN THE WAFER SHEET AND SUGAR WAFERS TECHNOLOGY

K. Iorgachova, O. Makarova, K. Khvostenko, A. Fateeva

Odessa National Academy of Food Technologies

Key words:

*Soft white wheat flour
Batter
Wafer sheets and sugar wafers
Quality
Rheological characteristics
Physico-chemical and sensory characteristics*

Article history:

Received 11.03.2020
Received in revised form 24.03.2020
Accepted 16.04.2020

Corresponding author:

K. Iorgachova

E-mail:

iorgachova@gmail.com

ABSTRACT

The paper highlights the problem of pastry quality stabilization, particular wafers, without additional introduction of enhancers in terms of the hard wheat flour usage, the technological properties of which are more consistent with the requirements of the bakery industry. Due to this the possibility of a purposeful choice of raw materials by manufacturers of pastry products is limited.

The effect of flour quality on the batter properties and final products, experience and existing ways of rheological characteristics regulation of batter to improve the quality of products, including healthy products, for special purpose are considered, the priority of solving this problem with the purpose and technologically based usage of flour raw materials is shown.

On the basis of the experimental results the advantages of the soft white wheat flour usage (Bilyava variety) for the wafer sheets and sugar wafers production are substantiated. It is shown that this flour, compared to the hard wheat flour, is characterized by a lower content of weak gluten, a higher value of whiteness and a lower water binding capacity, which are important technological characteristics for batter kneading. The viscosity of the waffle dough based on Bilyava wheat flour, both for refined and whole grain flour samples, was lower compared to batter based on hard wheat flour. The replacement of hard wheat flour with soft wheat flour leads to 25%—38% decrease in the dough viscosity. It leads to a more even batter distribution in wafer molds and product quality improvement. Wafer sheets and sugar wafers, compared to samples based on wheat flour, were characterized by a lighter color, lower density and better porosity. Obtained results confirm the expediency of soft wheat Bilyava flour usage in the wafers production. Its adding leads to the desired batter's rheological characteristics formation and products quality stabilization without the usage of enhancers. Also, the wafers based on whole wheat flour are characterized with the increase of the fiber content by 2.5—2.7 times, phosphorus, zinc, iron, vitamin B — by 2.1—3 times.

ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА З М'ЯКОЗЕРНОЇ ПШЕНИЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЦУКРОВИХ І ЛИСТОВИХ ВАФЕЛЬ

К. Г. Іоргачова, О. В. Макарова, К. В. Хвостенко, А. С. Фатєєва

Одеська національна академія харчових технологій

У статті висвітлюється проблема стабілізації якості борошняної кондитерської продукції, зокрема вафель, без додаткового внесення поліпшувачів з огляду на використання для виробництва борошна твердозерних пшениць, технологічні властивості якого більшою мірою відповідають вимогам хлібопекарської галузі. Це обмежує можливість цілеспрямованого вибору борошняної сировини виробниками кондитерської продукції.

Розглянуто вплив якості борошна на властивості вафельного тіста і випечених виробів, досвід та існуючі шляхи регулювання реологічних характеристик слабоструктурованого тіста для підвищення якості виробів, зокрема оздоровчого, спеціального призначення, показано пріоритетність вирішення цього завдання завдяки цільовому і технологічно обґрунтованому використанню борошняної сировини.

На основі проведених досліджень обґрунтовано переваги спрямованого використання борошна з білої м'якозерної пшениці сорту Білява для виготовлення листових і цукрових вафель. Встановлено, що це борошно, порівняно з борошном з хлібопекарської твердозерної пшениці, характеризується меншим вмістом слабкої за якістю клейковини, більшим значенням показника білості і меншою водозв'язувальною здатністю, що є важливою технологічною характеристикою при замісі тіста рідкої консистенції. В'язкість вафельного тіста у разі його приготування на основі борошна з пшениці Білява як вищого сорту, так і цільнозмеленого завжди була меншою, якщо порівняти з відповідними зразками на основі борошна з твердозерної пшениці. Заміна борошна вищого сорту з твердозерної пшениці на борошно з м'якозерної пшениці супроводжувалось зниженням в'язкості тіста на 25...38%. Це сприяло більш вільному і рівномірному заповненню вафельних форм і поліпшенню якості виробів. Листові і цукрові вафлі, порівняно зі зразками з хлібопекарського борошна, характеризувалися більш світлим кольором, меншою густиною та краще розвинутою пористістю. Це свідчить про доцільність використання борошна з м'якозерної пшениці Білява при виробництві вафель, адже забезпечує отримання тіста з бажаними реологічними характеристиками і стабілізацію якості виробів без внесення коректорів-поліпшувачів, а виготовлення вафель на основі цільнозмеленого борошна сприяє підвищенню в них вмісту харчових волокон у 2,5—2,7 раза, фосфору, цинку, заліза, вітамінів групи В — у 2,1—3 рази.

Ключові слова: борошно з білої м'якозерної пшениці, вафельне тісто, листові і цукрові вафлі, якість, реологічні характеристики, фізико-хімічні і органолептичні показники.

Постановка проблеми. Завдання покращення, стабілізації якості борошняних кондитерських виробів не втрачає своєї актуальності для вітчизняних виробників галузі та тісно взаємопов'язане з проблемою забезпечення підприємств сировиною з необхідними якісними характеристиками, ефективним та цільовим її використанням. Так, технологічні властивості пшеничного борошна, обов'язкової складової цієї продукції, є вагомим фактором, що визначає перебіг технологічного процесу, його поточність і безперервність, якість напівфабрикатів і текстуру виробів.

У загальному об'ємі борошняної кондитерської продукції значна частка в структурі виробництва припадає на вироби з вафельного тіста, для виготовлення яких необхідно використовувати борошно зі слабкою клейковиною, тобто низькими хлібопекарськими властивостями. Проте на сьогодні в Україні вимог до технологічних властивостей борошна як сировини для кондитерських підприємств стандартами не передбачено. Це ускладнює отримання вафельних виробів стабільно високої якості, що, у свою чергу, ставить під загрозу конкурентоспроможність вітчизняної продукції та утримання виробниками своїх позицій на внутрішньому і зовнішньому ринку. У зв'язку з цим все частіше постає питання про необхідність брати до уваги потреби кондитерської галузі і її забезпечення пшеничним борошном, яке відповідає спеціалізованим, відмінним від хлібопекарських, вимогам.

Також одним із важливих напрямків розвитку кондитерської галузі є врахування вимог сьогодення щодо підвищення вмісту фізіологічно-функціональних складових у виробках, адже використання для виготовлення вафель борошна вищого сорту обумовлює низький вміст у них баластних речовин, мікронутрієнтів тощо. В той же час зміна рецептурного складу продукції, зазвичай, негативно позначається на їх якості, що також потребує пошуку заходів для мінімізації цього впливу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забезпечення населення високоякісними виробами, розширення їх асортименту та корекція їх харчової цінності є одними з пріоритетних напрямків розвитку кондитерської галузі. Українські споживачі все більше орієнтуються на натуральну, корисну і при цьому якісну вітчизняну продукцію. Тож як при випуску традиційних, так і при створенні нових кондитерських виробів зі змінним хімічним складом, підвищеним вмістом дефіцитних макро- і мікронутрієнтів потребується збереження їхніх високих споживчих характеристик — органолептичних показників, звичних властивостей і текстури, що можливо завдяки цільовому й технологічно обґрунтованому використанню тільки натуральної сировини.

У структурі виробництва борошняної кондитерської продукції на вироби з вафельного тіста, навіть без урахування їх використання для виготовлення цукерок, тортів і морозива, припадає більше ніж 10% [1]. Популярність листових і цукрових, фігурних вафель серед широкого кола споживачів, незалежно від віку та соціального статусу, пояснюється їх гармонійним поєднанням з багатьма напівфабрикатами і продуктами, подібністю до снєків за зручністю споживання

і термінами зберігання, доступною ціною та характерними для них смаковими, хрусткими властивостями.

Основною сировиною для виробництва вафель є пшеничне борошно. Однією з важливих передумов отримання тонких, пористих вафель є виготовлення їх зі слабоструктурованого однорідного тіста, що являє собою суспензію покритих гідратними оболонками частинок борошна, необхідної консистенції. Це досягається у разі використання пшеничного борошна зі слабкою за якістю клейковиною при одночасному забезпеченні відповідних параметрів замісу тіста для запобігання надмірному набухання його гідроколоїдів і утворенню ниток (агрегатів) нерозчинних білків. Так, приготування вафельного тіста передбачає внесення значної кількості води, низьку температуру та мінімальну тривалість замісу, необхідну тільки для рівномірного розподілення рецептурних компонентів. Підвищення в'язкості вафельного тіста при недотриманні таких умов спричиняє забивання форсунок при його дозуванні, нерівномірне розтікання по поверхні вафельних форм, погіршення якості виробів тощо [2; 3]. Покращення властивостей тіста для вафель досягається авторами [4] при його приготуванні у вакуумованому середовищі, що також дає змогу інтенсифікувати заміс і знизити питомі енерговитрати. Завдяки замішуванню у вакуумі і відсутності повітряного прошарку навколо частинок борошна швидше утворюється гідратна оболонка, яка запобігає їх злипанню, що, поряд зі зменшенням тривалості замісу, обмежує набухання клейковини і сприяє підвищенню якості вафельних листів.

На забезпечення отримання вафельного тіста з бажаними реологічними характеристиками, що, звісно, позначається на якості виробів, спрямовані і дослідження, присвячені розробці вафель оздоровчого, спеціального призначення [5—10]. Регулювання консистенції вафельного тіста на основі безглютенових видів борошна — кукурудзяного, рисового, гречаного, запропоновано здійснювати завдяки визначенню оптимальної вологості напівфабрикату залежно від виду борошна, внесенню суміші ксантану і гуарової камеді. Крім того, зважаючи на різний вплив безглютенового борошна на в'язкісні властивості тіста, при розробці рецептур для вафельних листів можливо також використання їх суміші [5—7]. Для покращення розтікання тіста для вафель, збагачених харчовими волокнами в результаті додавання до 10% пшеничної клітковини або заміни цукру на порошок топінамбуру, внаслідок підвищення вологозв'язувальної здатності рецептурних компонентів, доведена доцільність використання фосфоліпідів і ферментних препаратів з геміцелюлазною активністю, що, у свою чергу, підвищує якість виробів [8; 10].

Коливання якості пшеничного борошна, що поступає на підприємства, спричиняє значні труднощі в роботі технологів при виробництві кондитерських виробів стабільної якості, в тому числі з вафельних напівфабрикатів. З огляду на відсутність у нашій країні класифікації і випуску пшеничного борошна за цільовим призначенням виробники кондитерської продукції змушені, на жаль, використовувати борошно з твердозерних пшениць, більш придатного для виготовлення хлібних виробів. Тим паче, що тривалий час робота селекціонерів була

спрямована на підвищення як опірності захворюванням і врожайності твердозерної пшениці, так і кількості та якості білка в ній.

При надходженні на підприємство борошна із сильною клейковиною для зниження в'язкості вафельного тіста виробникам кондитерської галузі доводиться використовувати харчові добавки-коректори [2; 3; 11; 12]. Дуже часто це мікроінгредієнти неорганічного походження, наприклад відновлювач піросульфід натрію, деякі емульгатори, що є фактором ризику для здоров'я населення. Складність застосування біохімічних коректорів-ферментів для регулювання технологічних властивостей борошна, призначеного для вафельної продукції, обумовлено важливістю дотримання обережності при роботі з ними, ретельного їх рівномірного розподілення у масі, дотримання температури й тривалості процесу для забезпечення дії цих препаратів. Це викликає ускладнення виробничого процесу, а можлива затримка при переробці тіста призведе до надмірного його розрідження і збільшення кількості відтіків.

Різні вимоги до якості борошна залежно від того, для виготовлення якої продукції воно призначене, вже давно існують за межами України [13—15], що надає можливість цілеспрямованого вибору підприємствами борошняної сировини. Вирішенням завдання забезпечення стабільності реологічних характеристик тіста, технологічного процесу та якості виробів при одночасному уникненні ризику негативного впливу на здоров'я штучних поліпшувачів є використання для виготовлення вафель борошна з м'язозерних пшениць, наприклад білозерної сорту Білява. Цей сорт пшениці селекціоновано одеськими науковцями з урахуванням потреб кондитерської галузі у борошні з бажаними технологічними властивостями [14]. Підвищенню вмісту у вафельних виробках, які переважно виготовляють із пшеничного борошна вищого сорту, дефіцитних нутрієнтів сприятиме використання при їх виробництві цільнозмеленого борошна з цього сорту пшениці.

Для обґрунтування переваг борошна з м'язозерних пшениць для використання при виготовленні вафель з рідкого, слабоструктурованого тіста необхідним є визначення зміни його реологічних характеристик і показників якості виробів при заміні ним борошна з хлібопекарських твердозерних сортів пшениці.

Мета дослідження: обґрунтування доцільності використання борошна з білої м'язозерної пшениці сорту Білява для забезпечення бажаних реологічних властивостей слабоструктурованого тіста та стабілізації якості листових і цукрових вафель.

Викладення основних результатів дослідження. При проведенні досліджень для приготування вафельного тіста та виробів використовували борошно вищого сорту з хлібопекарської твердозерної пшениці (ХПБ) та з білої м'язозерної пшениці сорту Білява (БПБ). Для підвищення харчової цінності вафель встановлювали можливість їх виробництва на основі цільнозмеленого борошна з білої м'язозерної пшениці сорту Білява (БЦБ), контрольний зразок готували з цільнозмеленого борошна з твердозерної (хлібопекарської) пшениці (ХЦБ).

При визначенні доцільності використання сировини для отримання напівфабрикатів з необхідними структурно-реологічними характеристиками та продукції високої якості провідна роль належить її технологічним властивостям. Насамперед це стосується вмісту і фізичних властивостей клейковинноутворювальних білків. Порівняльний аналіз технологічних властивостей борошна з різних сортів пшениці (табл. 1) показав, що борошно з пшениці Білява містить меншу кількість більш розтяжної за якістю клейковини. Пружність нерозчинних у воді білкових фракцій борошна вищого сорту і цілномеленого з м'якозерної пшениці, порівняно з аналогічними сортами борошна з хлібопекарської пшениці, нижча на 39 і 18%, відповідно.

Таблиця 1. Показники якості пшеничного борошна, $n=3, p \leq 0,05$

| Найменування показників | ХПБ | БПБ | ХЦБ | БЦБ |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| Масова частка вологи, % | 13,2 | 13,3 | 13,5 | 13,4 |
| Кількість сирої клейковини, % | 25,5 | 24,1 | 18,3 | 17,0 |
| Пружність клейковини, од. пр. ІДК | 65 | 90 | 55 | 65 |
| Розтяжність над лінійкою, см | 12,5 | 19,0 | 10,5 | 13,5 |

Зважаючи, що утворення і реологічні властивості тіста, яке для вафель повинно мати рідку консистенцію і добре розтікання, значно залежать від колоїдних властивостей сухих протеїнових гелей, крохмальних зерен і некрохмальних полісахаридів, при дослідженні технологічних властивостей різних видів борошна необхідним є визначення їх водозв'язувальної здатності (рис. 1).

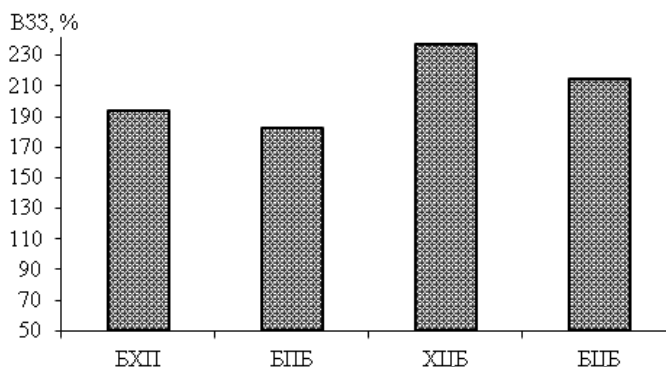


Рис. 1. Водозв'язувальна здатність пшеничного борошна

Отримані результати свідчать, що водозв'язувальна здатність (B33) цілномеленого борошна, звісно ж, більша, ніж борошна вищого сорту. Це пов'язано з великим вмістом у цілномеленому борошні зосереджених у поверхневих шарах зернівки некрохмальних полісахаридів з властивою для них здатністю фізично утримувати значну кількість вологи. При цьому встановлено, що, незалежно від сортності борошна, меншою B33 володіє борошно з пшениці сорту Білява. Так, водозв'язувальна здатність БПБ і БЦБ приблизно в 1,1 раза менша, ніж хлібопекарського борошна з твердозерної пшениці. Здатність борошна з пшениці сорту Білява меншою мірою зв'язувати й утримувати вологу, ймовірно,

пояснюється відмінністю від хлібопекарської як за структурою білкових речовин, так і за фізичним станом крохмальних зерен, адже, наприклад, кількість водонерозчинних фракцій білка у досліджуваній м'язозерній пшениці менша. Крім того, менша ВЗЗ борошна з пшениці Білява, на нашу думку, обумовлена і меншим ступенем пошкодження крохмальних зерен при помелі внаслідок її м'язозерності, адже непошкоджені крохмальні зерна значно менше і повільніше поглинають вологу. Про менший ступінь пошкодження зерен крохмалю у борошні з м'язозерної пшениці, що, у свою чергу, обумовлює меншу доступність крохмалю дії амілолітичних ферментів, опосередковано свідчить і більше значення числа падіння — для хлібопекарського борошна вищого сорту воно становить 362 с, тоді як для БПБ — 417 с. Це свідчить про пріоритетність спрямованого використання борошна з пшениці Білява для виготовлення вафель, адже менша кількість води, що поглинається його речовинами, має велике технологічне значення при замісі тіста рідкої консистенції.

Отже, за визначеними показниками якості борошна з різних сортів пшениці борошно з пшениці Білява можна віднести до слабкого за силою, що узгоджується також з отриманими авторами [16] результатами визначення його хлібопекарських властивостей на альвеографі.

Різні технологічні характеристики використовуюваного борошна — вміст і фізичні властивості клейковини, водозв'язувальна здатність, істотно впливатимуть на характер формування вафельного тіста. При дослідженні впливу виду борошна на властивості тіста та якість виробів заміну борошна з твердозерної пшениці на борошно з білозерної пшениці сорту Білява здійснювали при приготуванні цукрових і листових вафель.

Визначення реологічних характеристик вафельного тіста за зміною ефективної в'язкості проводили за температури $(19 \pm 1)^\circ\text{C}$, вологість напівфабрикатів для цукрових і листових вафель знаходилась у передбачених технологією межах і становила 43,5—44,5% і 63,0—64,0% відповідно.

Встановлено, що ефективна в'язкість усіх досліджених зразків тіста із збільшенням швидкості зсуву знижується (рис. 2) внаслідок порушення сил зв'язку між частками та ослаблення структури вафельного тіста, тому що найбільшою в'язкістю володіє незруйнована структура.

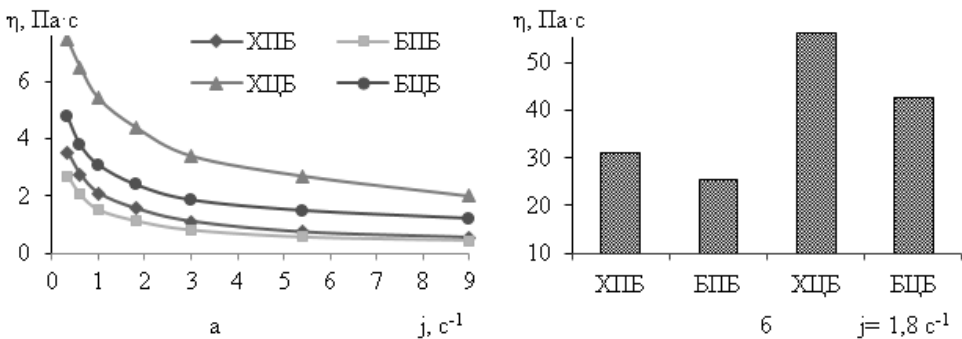


Рис. 2. В'язкість тіста для листових (а) і цукрових (б) вафель

При малих швидкостях зсуву структура характеризується руйнуванням і відновленням окремих зв'язків, при цьому тісто має більшу в'язкість. Збільшення швидкості зсуву супроводжується тим, що руйнування структури починає переважати над відновленням, в'язкість різко зменшується. При подальшому підвищенні швидкості зсуву — більше ніж $3,0 \text{ c}^{-1}$ для тіста з борошна вищого сорту і $5,4 \text{ c}^{-1}$ для тіста з цільнозмеленого борошна, спостерігається наближення в'язкості тіста до сталого значення, адже під впливом зростаючої швидкості зсуву відбувається зменшення взаємодії між частками і все більша їх орієнтація у напрямку течії.

Аналіз результатів реологічних властивостей вафельного тіста залежно від виду використовуваного борошна свідчить, що в'язкість напівфабрикатів з цільнозмеленого борошна, передбачувано, була набагато вища, ніж із борошна вищого сорту, що пов'язано з наявністю в ньому значної кількості харчових волокон, для яких характерна підвищена водозв'язувальна здатність. При цьому у разі його приготування на основі борошна з пшениці Білява в'язкість завжди була меншою порівняно зі зразками на основі борошна з твердозерної пшениці. Так, заміна ХПБ на БПБ при виробництві цукрових і листових вафель сприяло зниженню в'язкості тіста на 25...38% (при $j = 1,0 \text{ c}^{-1}$), завдяки чому у подальшому спостерігалось краще його розподілення по поверхні вафельних плит. Отримані закономірності зміни реологічних характеристик вафельного тіста від виду борошна, яка більшою мірою спостерігалась у разі виготовлення листових вафель, пояснюються більш слабкою за якістю клейковиною борошна з м'якозерної пшениці, що закладено в ній генетично, та меншим ступенем поглинання ним води (рис. 1), що впливає на консистенцію отриманих напівфабрикатів. Наявність у рецептурі цукрових вафель цукру та жиру, ймовірно, внаслідок їх здатності обмежувати набухання біоколоїдів борошна, дещо згладжувала вплив технологічних властивостей борошна на реологічні характеристики тіста.

Використання цільнозмеленого борошна з твердозерної пшениці замість ХПБ для підвищення вмісту у виробках дефіцитних у харчуванні населення макро- і мікронутрієнтів призводило до підвищення в'язкості напівфабрикатів практично в 2 рази, тоді як використання цільнозмеленого борошна з пшениці Білява дає змогу отримати менш в'язке тісто — його в'язкість порівняно з тістом на основі ХЦБ менша майже в 1,5 рази.

Встановлений вплив виду борошна на консистенцію тіста пояснюється більшою мірою відмінностями у співвідношенні твердої і рідкої фаз тіста в результаті різної водозв'язувальної здатності борошняної сировини. Менша ВЗЗ борошна з пшениці сорту Білява і, як наслідок, більша кількість рідкої фази в тісті на його основі сприяє кращому покриттю частинок борошна гідратною оболонкою і більш вільному, без злипання, їх переміщенню при механічному впливі.

Дослідження якості вафель показало, що за вологістю всі зразки відповідають передбаченим стандартом значень, яка становила для листових вафель 2,0...3,0%, для цукрових знаходилась в межах 2,1...3,9%.

Висновки про зміну пористості вафель робили на підставі визначення їх густини (рис. 3). Результати досліджень показали, що густина виробів, незалежно

від виду вафель, була більша у разі використання для їх приготування цільно-змелених сортів борошна, а використання борошна з м'язозерної пшениці, незалежно від його сортності і виду вафель, навпаки, сприяло зменшенню густини порівняно з відповідними зразками на основі борошна з твердозерних сортів пшениці.

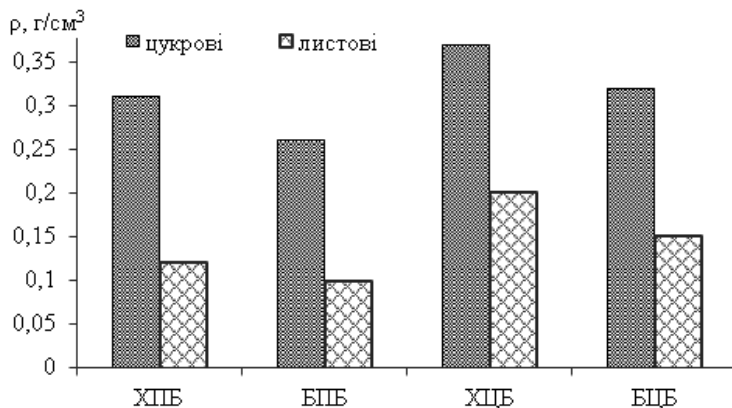


Рис. 3. Густина вафель

Отримані залежності, на нашу думку, обумовлені декількома факторами. По-перше, більша густина і, як наслідок, гірша пористість вафель з цільно-змеленого борошна, порівняно з виробами на борошні вищого сорту та зразків на основі хлібопекарського борошна у разі їх порівняння з аналогічними виробами на борошні з м'язозерної пшениці, ймовірно, пов'язані з більш високою в'язкістю цих зразків тіста, яке важче піддається розпушуванню під час випікання. По-друге, більша ВЗЗ відповідних сортів борошна цільнозмеленого порівняно із сортовим або хлібопекарського порівняно з борошном з пшениці Білява зумовлює зниження частки рідкої фази у тісті і, як наслідок, зменшення кількості перетвореної з вільної вологи пари при випіканні, яка завдяки миттєвому прогріванню тіста бере значну участь у розпушуванні вафель. Саме завдяки цьому процесу забезпечується пористість вафельних листів без наявності у рецептурі хімічних розпушувачів.

Зменшення ж в'язкості тіста і збільшення кількості вільної вологи у напівфабрикатах на основі борошна з пшениці Білява, у свою чергу, позитивно відбилося і на якості випечених вафель — виробі характеризувалися меншою густиною та краще розвинутою пористістю (рис. 4), адже підвищення текучості тіста обумовило зменшення його кількості, яка необхідна для заповнення плити й отримання повного листа після дозування. Крім того, покращення якості вафель обумовлено і меншою пружністю клейковинної сітки в тісті на основі борошна з м'язозерної пшениці, на запобігання надмірному розвитку якої спрямовані технологічні параметри виготовлення тіста для цих виробів.

Органолептичний аналіз зразків (рис. 4) також свідчить, що кращими характеристиками відрізнялись вафлі на основі борошна з м'язозерної пшениці.

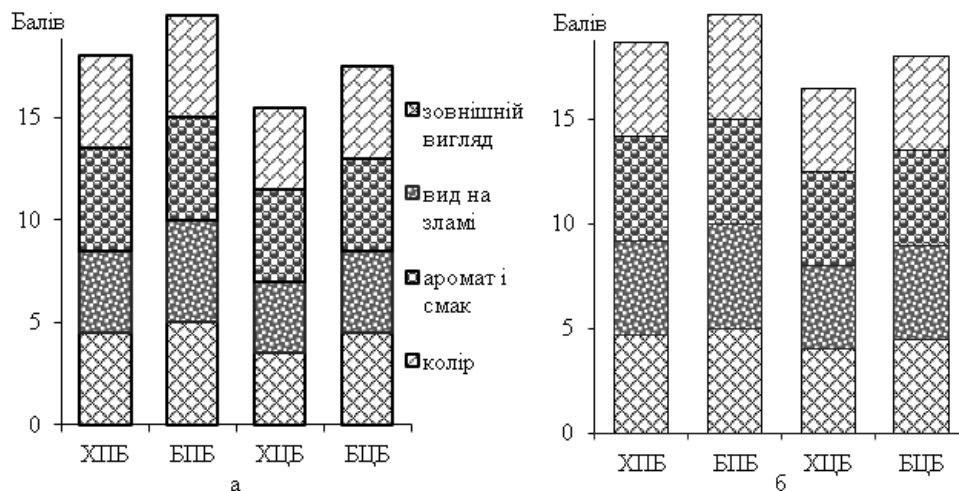


Рис. 4. Органолептична оцінка вафель листових (а), цукрових (б)

Вафлі з БПБ мали добре розвинену пористість, чіткий малюнок на поверхні, рівномірну товщину і більш світле, порівняно з виробами на ХПБ, забарвлення, що пояснюється різною білістю самого борошна (білість ХПБ 59 од. прил., БПБ — 73 од. прил.). Колір листових вафель з БПБ був світло-солон'яний, цукрових — світло-бежевий. Смак і аромат виробів при однаковій сортності борошна практично не відрізнявся, а залежав від виду вафель і сорту борошна.

Використання для приготування вафель цільнозмеленого борошна призвело до зниження їх якості, проте сприяло підвищенню в них кількості баластних речовин і мікронутрієнтів — вміст харчових волокон, порівняно з виробами на борошні вищого сорту, збільшився в 2,5—2,7 раза, вітамінів групи В, фосфору, цинку, заліза — в 2,1—3 рази. При чому в більшій мірі підвищення харчової цінності спостерігається у листових вафлях у результаті більшої частки в їх рецептурі борошна. Заміна борошна з цільнозмеленої хлібопекарської пшениці на борошно з цільнозмеленої пшениці сорту Білява дає змогу отримати вироби кращої якості, а внаслідок відсутності кольорового пігменту у її зерні забезпечується виготовлення вафель світлішого кольору, навіть при високому вмісті багатих на цінні речовини поверхневих шарів зернівки.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що борошно з білої м'якозерної пшениці Білява, порівняно з борошном з хлібопекарської твердозерної пшениці, характеризується меншою водозв'язувальною здатністю, містить меншу кількість більш розтяжної, слабкої за якістю клейковини.

Заміна борошна з хлібопекарської пшениці на борошно з пшениці Білява при виробництві листових і цукрових вафель сприяла зниженню в'язкості тіста, завдяки чому спостерігалася краще розподілення його по поверхні вафельних плит. Зменшення в'язкості тіста, у свою чергу, позитивно відбилося і на якості випечених вафель — вироби на основі борошна з цієї м'якозерної пшениці характеризувалися однорідним кольором, меншою густиною та краще розвинутою пористістю.

Виготовлення вафель на основі цільнозмеленого борошна сприяло підвищенню в них вмісту харчових волокон в 2,5—2,7 раза, в 2,1—3 рази вітамінів групи В, фосфору, цинку, заліза. Проте використання цільнозмеленого борошна з твердозерної пшениці замість ХПБ призводило до значного підвищення в'язкості напівфабрикатів і зниження якості продукції. В той же час використання цільнозмеленого борошна з пшениці Білява дає змогу отримати менш в'язке тісто та вироби кращої якості і світлішого кольору.

Отже, вказані переваги свідчать про доцільність виготовлення вафель на основі борошна з м'якозерної пшениці Білява, адже це забезпечує стабілізацію реологічних характеристик тіста і якості виробів без додаткового внесення коректорів-поліпшувачів, а при використанні борошна з цільнозмеленої пшениці — підвищення вмісту баластних речовин і дефіцитних мікронутрієнтів.

Література

1. Кільницька О. С., Кравчук Н. І., Куцмус Н. М. Ринок кондитерської продукції в Україні: тенденції та перспективи розвитку. *Економіка АПК*. 2018. № 11. С. 29—32.
2. Мэнли Д. Мучные кондитерские изделия с рецептурами. СПб: Профессия, 2013. 759 с.
3. Tiefenbacher K. The Technology of Wafers and Waffles I: Operational Aspects. Academic Press, 2017. 679 p.
4. Старшов Д. Г., Седелкин В. М., Старшов Г. И. Исследование и разработка вакуумной тестомесильной машины. *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Вып. 45, № 2. С. 99—105.
5. Dorohovych V., Hrytsevich M., Isakova N. Effect of gluten-free flour on sensory, physico-chemical, structural and mechanical properties of wafer batter and waffles. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Вып. 7, № 2. С. 253—263.
6. Dogan I. S., Yildiz O., Meral R. Optimization of corn, rice and buckwheat formulations for gluten-free wafer production. *Food Science and Technology International*. 2016. Вып. 22, № 5. С. 410—419.
7. Mert S., Serpil S., Gulum S. Development of gluten-free wafer sheet formulations. *LWT-Food Science and Technology*. 2015. Вып. 63, № 2. С. 1121—1127.
8. Прянишников В. В., Банщикова Т. А., Шестерова С. В. Пищевые растительные волокна Витацель в производстве вафельной продукции. *Научное обозрение. Технические науки*. 2017. № 1. С. 84—87.
9. Tufan B., Gulum S., Sahin S., Sumnu G. Utilization of legume flours in wafer sheets. *Legume Science*. 2019. P. 1—9.
10. Тамазова С. Ю. Исследование влияния пищевых добавок на технологические свойства полуфабрикатов вафельного производства. *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. 2017. № 128. С. 1—12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-pischevyh-dobavok-na-tehnologicheskie-svoystva-polufabrikatov-vafelnogo-proizvodstva>.
11. Уайтхерст Р., Оорт М. В. Ферменты в пищевой промышленности; за ред.: Макарова С. В. СПб: Профессия, 2013. 408 с.
12. Moisture resistant wafer [Веб-сайт]. U.S. Patent office, 2007. URL: <https://patents.google.com/patent/US20100092612A1/en>.
13. Types of wheat flour: [Веб-сайт]. Berkeley Wellness, University of California, 2016. URL: <http://www.berkeleywellness.com/healthy-eating/food/article/types-wheat-flour>.
14. Моргун В. В., Рибалка О. І. Стратегія генетичного поліпшення зернових злаків з метою забезпечення продовольчої безпеки, лікувально-профілактичного харчування та потреб переробної промисловості. *Вісник НАН України*. 2017. № 3. С. 54—64.
15. Step by Step. Wheat Farming, Milling & Quality Requirements: [Веб-сайт]. URL: <http://www.iaom-mea.com/wp-content/uploads/2016/07/Tech-03-Grain-Corp-IAOM-Jordan-2011.pdf>.
16. Жигунов Д. О. та ін. Дослідження технологічних властивостей пшениці та спельти як сировини для виробництва борошна і крупи. *Наукові праці НУХТ*. Том 24, № 5. С. 208—217.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць.

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має містити коротку інформацію про мету, об'єкт та методику досліджень, основні результати й рекомендації щодо їх застосування.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному або порядку цитування в тексті наводиться список літературних джерел (не менше п'яти джерел, не більше дванадцяти). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ 8302:2015. У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмі-редакторі Corel Draw X6.

Вимоги до оформлення рисунків: вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом. Знімок екрана (скріншот) виконується на світлому фоні.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються у разі крайньої потреби. Авторам краще завантажити фотографії на хмарний сервіс і у списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net