

ISSN 2079-4827

Міністерство освіти і науки України
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Тематичний збірник наукових праць

№ 2 (49) 2024

**Збірник наукових праць заснований у 1998 році
Виходить двічі на рік**

*Журнал внесено до міжнародних наукометричних баз
та інформаційно-аналітичних систем
Index Copernicus, Google Scholar, ResearchBib, Cite Factor, EZB
(Elektronische Zeitschriftenbibliothek),
Advanced Science Index*

Кривий Ріг
ДонНУЕТ
2024

Редакційна колегія

Головний редактор — **В. П. Хорольський**

Заступник головного редактора — **Р. П. Никифоров**

Відповідальний секретар серії — **А. В. Слащева**

Редакційна колегія серії:

Віннікова Л. Г., д-р техн. наук (Одеський національний технологічний університет); Гнізевич В. А., д-р техн. наук (Державний торговельно-економічний університет); Гринченко О. О., д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); Дейниченко Г. В., д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); Золотухіна І. В., д-р техн. наук (Центральноукраїнський національний технічний університет); Михайлов В. М., д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); Никифоров Р. П., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); Омельченко О. В., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); Пивоваров П. П., д-р техн. наук (Державний біотехнологічний університет); Погребняк В. Г., д-р техн. наук (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу); Покотило О. С., д-р біол. наук (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя); Прісс О. П., д-р техн. наук (Таврійський державний агротехнологічний університет); Слащева А. В., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); Сімакова О. О., канд. техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); Стадник І. Я., д-р техн. наук (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя); Хомич Г. П., д-р техн. наук (Вищий навчальний заклад Укоопспілки "Полтавський університет економіки і торгівлі"); Хорольський В. П., д-р техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); Юдіна Т. І., д-р техн. наук (Державний торговельно-економічний університет).

**Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 24.09.2020 р. № 1188)**

Журнал зареєстровано в Міністерстві юстиції України.
Реєстраційний номер КВ № 13181-2065ПР від 25.07.2007 р.

Засновник та видавець Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.

*Журнал підписано до друку вченою радою Донецького національного
університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського,
(протокол № 4 від 19.12.2024 р.)*

Мова видання: українська та англійська.

Усі права захищені.

Передрук і переклади дозволяються лише з відома автора та редакції.

Адреса видавця та редакції:
50042, м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.
тел. (0564) 409-77-97, e-mail: obladnannya@donnuet.edu.ua,
www.donnuet.edu.ua

© Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського, 2024

ISSN 2079-4827

**Mykhailo Tuhon-Baranovskyi Donetsk National
University of Economics and Trade**

FOOD PRODUCTION EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES

Thematic collection of scientific works

No 2 (49) 2024

**Collection of scientific works published since 1998
Issued 2 times a year**

*Journal is indexed in the international scientometrical bases
and analytics systems
Index Copernicus, Google Scholar, ResearchBib, Cite Factor,
EZB (Elektronische Zeitschriftenbibliothek),
Advanced Science Index*

Kryvyi Rih
DonNUET
2024

Editorial board

Editor in chief — V. P. Khorolskyi

Deputy editor in chief — R. P. Nykyforov

Executive secretary of series — A. V. Slashcheva

Editorial board of series:

Deynichenko Gryhoriy, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Gnitsevych Viktoriia*, Grand PhD in Engineering sciences (State University of Trade and Economics); *Grinchenko Olha*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Heiier Hryhoriy*, Grand PhD in Economy sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Khomych Halina*, Grand PhD in Engineering sciences (Poltava University of Economics and Trade); *Khorolskyi Valentyn*, Grand PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Mykhailov Valerii*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Nykyforov Radion*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Omelchenko Oleksandr*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Pogrebnyak Volodymyr*, Grand PhD in Engineering sciences (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas); *Pokotylo Oleg*, Grand PhD in Biological sciences (Ternopil Ivan Puluj National Technical University); *Priss Olesya*, Grand PhD in Engineering sciences (Tavria State Agrotechnological University); *Pyvovarov Pavlo*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Slashcheva Alina*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Simakova Olha*, PhD in Engineering sciences (Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky); *Stadnyk Ihor*, Grand PhD in Engineering sciences (Ternopil Ivan Puluj National Technical University); *Vinnikova Lyudmila*, Grand PhD in Engineering sciences (Odessa National Technological University); *Yudina Tatiana*, Grand PhD in Engineering sciences (State University of Trade and Economics); *Zolotukhina Inna*, Grand PhD in Engineering sciences (Central Ukrainian National Technical University).

This publication is entered in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine (Category “B”) (Order No. 1188 of Ministry of Education and Science of Ukraine of 24.09.2020)

Journal was registered at Ministry of Justice of Ukraine.
Registration number KB № 13181-2065ІІР dated July 25, 2007.

Founder and editor Mykhailo Tugan-Baranovskyi Donetsk National University
of Economics and Trade, Kryvyi Rih.
Certificate of Publisher ДК № 4929 dated July 7, 2015.

*Passed for printing under recommendation of Academic Council
of Mykhailo Tugan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade
(transaction No. 4 of 19.12.2024).*

Language of edition: Ukrainian, English.

Reprinting and translations are allowed only from the consent
of author and editorial board.

Address of editor and editorial office:
13, Kurchatova str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50042 and editorial office:
phone (0564) 409-77-97, e-mail: obladnannya@donnuet.edu.ua,
www.donnuet.edu.ua

© Mykhailo Tugan-Baranovskyi Donetsk National University
of Economics and Trade, 2024

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2024-49-2-5-12

UDC 664.8:543.42

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

Bodnaruk O.A., assistant

Zakusilo T. I., a graduate of a master's degree

Dengub A. D., a graduate of a bachelor degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky
(Krivyi Rig, Ukraine), e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua

TECHNOLOGY OF THERMO-RESISTANT FILLING WITH BIOPROTECTIVE ACTION FOR CONFECTIONERY PRODUCTS

УДК 664.8:543.42

Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент

Боднарук О. А., асистент

Закусило Т. І., здобувач СВО магістра

Деньгуб А. Д., здобувач СВО бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua

ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМОСТІЙКОЇ НАЧИНКИ БІОПРОТЕКТОРНОЇ ДІЇ ДЛЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

Objective is to develop a technology for a thermostable filling based on pumpkin and Jerusalem artichoke with a high content of low-esterified pectins, to study its organoleptic indicators and complexing ability for some toxic metals (zinc, nickel, cadmium, lead).

Methods. Sampling was carried out in accordance with the requirements of DSTU ISO 874-2002, sample preparation for laboratory analysis was carried out in accordance with DSTU 7040:2009. The determination of toxic elements was carried out: cadmium – according to DSTU ISO 6561:2004, lead – according to DSTU ISO 6633:2001, arsenic – according to DSTU ISO 6634:2004, zinc – according to DSTU ISO 6636-2:2004, mercury – according to DSTU ISO 6637:2001.

Results. The technology of thermostable filling was theoretically substantiated, the technological feasibility of using pumpkin and Jerusalem artichoke puree in the technologies of thermostable fillings was determined; rational recipes of thermostable filling were determined in order to obtain products with specified structural and mechanical indicators; rational parameters of thermostable filling production were investigated; recommendations for the use of filling in confectionery technologies were developed; protective properties of the new thermostable filling were investigated. Original technologies of confectionery products using thermostable filling "Orange" were developed, namely: shortcrust pastry, crumble, muffin, puff pastry "Orange Flower". The results of the study of the complexing ability in relation to heavy metals (zinc, nickel, lead, cadmium) indicate that cations of all four metals form insoluble complexes with polysaccharides of the filling ingredients, as evidenced by a significant decrease in their concentration in the initial solution. The obtained data allow us to conclude that the use of the developed thermostable filling makes it possible to obtain confectionery products with protective action.

Keywords: technology, thermostable filling, low-esterified pectin, pumpkin, Jerusalem artichoke, complexing ability, bioprotective properties.

Formulation of the problem. Bakery and flour confectionery products with fillings and layers are in great demand among the population. Taking this into account, domestic and foreign suppliers offer a wide range of fillers for various areas of application, including fillers using modified expensive pectins. Heat-stable fillings, as components of bakery and flour confectionery products, must first of all have a jelly consistency, which is achieved by adding special structure-forming components - pectins, as well as other structure-forming agents [1].

However, the technology for producing heat-stable fillings using highly esterified pectins in their recipe limits their production, since at a sufficiently high gelling temperature of these pectins, very strong gels are formed. At the same time, the heat-stable properties of such gels completely depend on the integrity of their structure, i.e. the destruction of the structure during mechanical action (for example, pumping) leads to a complete loss of heat stability. In this case, the filler on highly esterified pectins boils, deforms and flows out of the product. Therefore, special low-esterified pectins are used for large-scale industrial production. The consistency of these fillers retains its shape under various mechanical influences [2, 3].

Fruits and vegetables contain a large number of biologically active substances and their introduction into various food products in one form or another leads to an increase in nutritional and biological value, as well as a change in the technological properties of the final products. Therefore, both the fruits and vegetables themselves and the products of their processing are often used for this purpose by specialists in the dairy, bakery and a number of other sectors of the food industry [4-6]. The introduction of fruit and vegetable raw materials is carried out in two directions: directly into the product to change the technological parameters or for decoration in the form of fillers or layers. Unfortunately, vegetable raw materials have not found application as heat-stable fillers due to their relatively low functional and technological properties, in particular, gelling ability. The disadvantage of vegetable raw materials is that they contain medium-esterified pectins, which affects the functional and technological properties of fillers based on them. However, vegetable pectins, due to the presence of a large number of free carboxyl and hydroxyl groups, have a more powerful complexing ability with respect to toxic elements, radionuclides, pesticides, phenols, etc., compared to fruit and berry raw material pectins.

Vegetable raw materials also have other advantages: high shelf life, relatively low cost. Pumpkin and Jerusalem artichoke, under appropriate conditions, can be stored for a long time without losing their beneficial properties. Vegetables contain more dietary fiber, in particular, protopectins, compared to fruit and berry raw materials, which allows reducing the amount of artificially introduced components to increase water-binding capacity and form a strong spatial structure when creating filler recipes. Thus, vegetable raw materials may have great potential for use in recipes for heat-stable fillers with increased complexing capacity, provided that an effective method for activating the pectins of this raw material by reducing the degree of esterification is proposed, and the introduction of additional ingredients (except for modified pectin preparations) is scientifically substantiated, allowing the fillers to retain their organoleptic and physicochemical properties under baking conditions at high temperatures.

We propose one of the directions for improving the technology of confectionery products by using thermostable fillings based on plant raw materials with protective properties, namely: pumpkin and Jerusalem artichoke as sources of fiber, low-esterified pectins and carotenoids. Plant fiber and some types of pectins are characterized by the ability to bind poorly soluble complexes of radionuclides, heavy metals, nitrates and other toxic compounds and remove them from the human body, carotenoids are a powerful antioxidant and have immunostimulating and adaptogenic effects.

Analysis of recent research and publications. A number of scientists and researchers are actively involved in the development of protective products, as evidenced by a large number of patents, articles and other scientific works. A significant contribution to the study of these issues belongs to a number of scientists: L.M. Telezhenko, L.P. Malyuk, R.Yu. Pavlyuk, G.P. Khomych, N.M. Osokina, N.I. Tkach, I.V. Pylypenko and others. Most of the developments provide for the introduction of fruit and berry and vegetable raw materials (juices, purees, stews, pomace, powders), vegetable oils, extracts of medicinal herbs, bran of cereal crops, etc. into the formulations [1-4].

Heat-stable fillings are used to make a variety of baked goods, including cookies, muffins, buns, gingerbread, pies, cakes and other products that require flour. Unlike regular fillings, such as classic jam, heat-stable fillings are able to maintain their structure under the influence of high temperatures. This also applies to taste characteristics. They complement baked goods, making them more diverse in terms of taste and consistency. Regular fillings are absorbed into the dough, burn and leak out. Fruit, berry and vegetable fillings are a popular and long-loved semi-finished product in the food industry: their refreshing sour taste and relatively high moisture content favorably emphasize the quality and expand the range of food products. Recently, in the production of flour products, fillings with heat-stable characteristics have become increasingly popular. Such fillings have a pronounced jelly consistency, are made using special technologies with the use of special structure-forming components and retain their properties (shape, texture, mass fraction of dry substances, pH) under normal baking conditions (convection method at a temperature of 210-230 °C for 20 minutes). At the same time, heat-stable fillings are the most difficult in technological terms to produce and use [5]. On the one hand, when using fruit and berry or vegetable fillings, the manufacturer of flour products tries to satisfy the desire of buyers to consume healthier products from natural plant materials while maintaining an affordable price. And on the other hand, an important technological task when using such fillings is to preserve their original volume and consistency, which is associated with the problem of binding fruit / vegetable juice or sugar-fruit syrup, which are formed in excess during heat treatment, and keeping it in a bound state during storage of flour products. Finished heat-stable fillings should have: pronounced color, aroma and taste of the fruit raw materials used; jelly-like consistency and absence of fluidity; preservation of structure during mixing and/or pumping; absence of jelly lumps or clots; characteristic stickiness from the inner wall of the container; absence of syneresis (water release and phase separation) during storage of the filling or under mechanical action; the possibility of use for a wide range of bakery and confectionery products [6, 7].

It is known that low-esterified pectins have a high complexing ability with respect to heavy metals. A promising source of these substances is pumpkin and Jerusalem artichoke, the use of which is limited in the confectionery industry due to the low gelling ability of their pectins, especially in the world of their use as a basis for confectionery fillings. Therefore, the development of new heat-stable fillings based on them is relevant and timely. The developed products can be recommended for therapeutic and prophylactic nutrition in conditions of harmful production and protective nutrition of residents of environmentally hazardous regions with developed industry.

Objective of the article is the development of a technology for a thermostable filling based on pumpkin and Jerusalem artichoke with a high content of low-esterified pectins and research into its quality indicators and complexing ability towards some metals.

Presentation of the main study material. Thermostable fillings are semi-finished products for the production of flour confectionery products (cookies, gingerbread, etc.), which are formed by jiggling or co-extrusion, are located inside or on the surface of the products and are intended for baking together with the dough [8].

There are a number of requirements for thermostable fillings, the main ones of which are the following. They must easily form a jelly-like structure, retain their shape during baking – not to spread, not to deform the flour semi-finished product, not to boil [9]. They must also firmly retain moisture during cooling and storage of products. This is achieved by introducing moisture-retaining components into their formulation. To increase the nutritional and biological value, it is proposed to use pectin-containing pumpkin puree and Jerusalem artichoke puree as the main component of thermostable fillings. The presence of carotenoids in the pumpkin puree of the “Prikubanskaya” variety gives the puree a bright orange color, which is also transmitted to the finished thermostable filling and eliminates the use of artificial dyes in this technology. To ensure thermostable, it is proposed to use low-esterified pectin with a degree of esterification of 31-36%, which has a number of advantages compared to other structure-forming agents. Preparation of this thermostable filling includes the following operations: mixing pectin, calcium citrate with 100 g of sugar (from the total amount of sugar); heating the resulting mixture together with the puree until the pectin is completely dissolved; adding the remaining sugar, molasses, setting the required pH value by adding a solution

of citric acid; cooling to a pouring temperature of 50-60°C, pouring the filling. With an overdose of calcium ions, calcium pectinate is formed, which precipitates, the so-called premature gelling occurs. The concentration of calcium citrate in the filling was varied from 0.02 to 0.16%. A sample without the addition of the named salt served as a control.

Based on this recipe, a technological scheme was developed (Fig. 1).

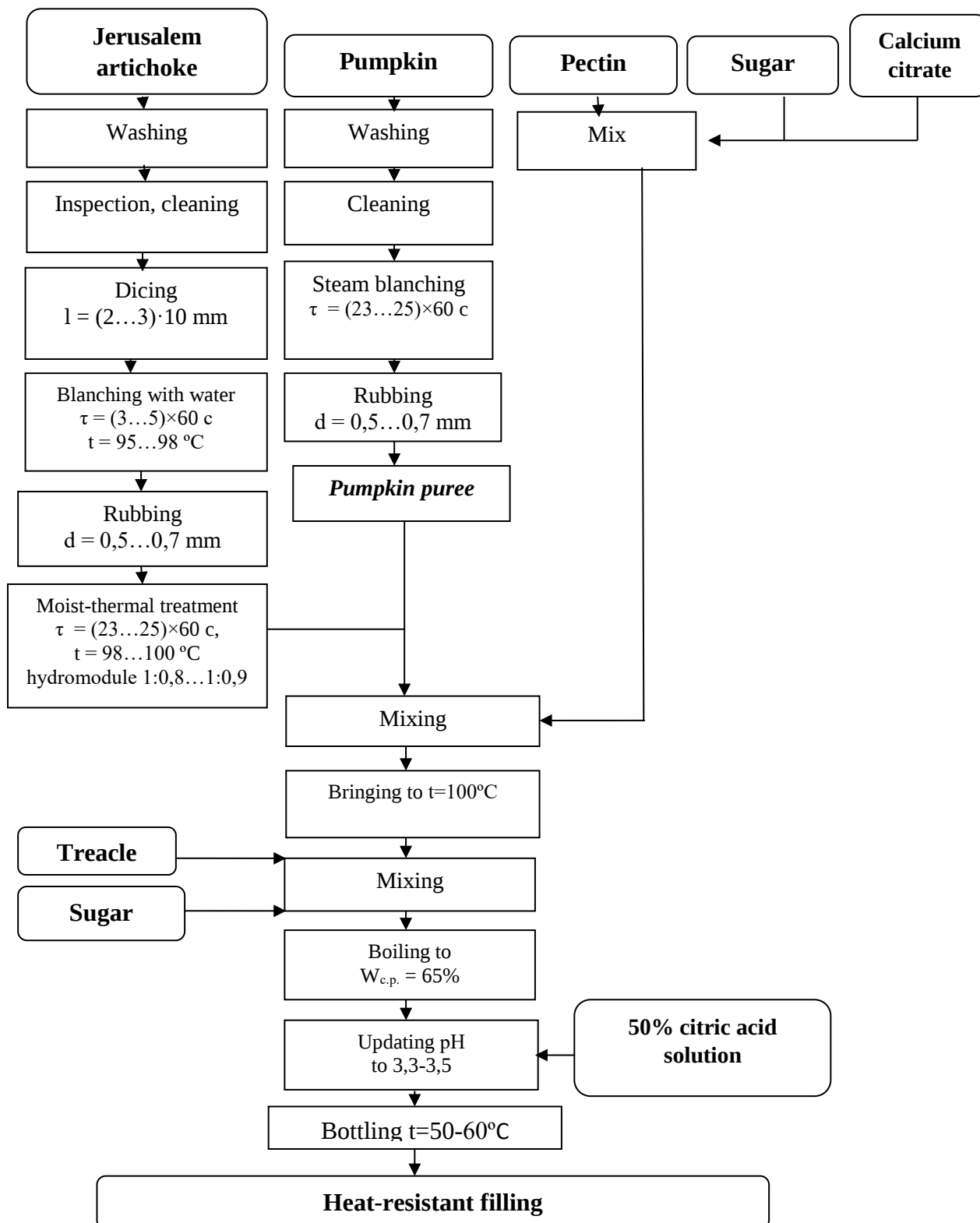


Figure 1 – Technological scheme of thermostable filling

Table 1 – Organoleptic characteristics of thermostable filling

Indicator name	Characteristic
Appearance	Homogeneous mass
Consistence	Homogeneous, dense, plastic
Color	Suitable for the raw material used, glossy
Taste and smell	Sweet, appropriate to the raw materials used, without foreign odor or taste

Original confectionery technologies using the thermostable filling "Orange" have been developed, namely: shortcrust pastry "Orange Dream", crumble "Orange Sun", puff pastry "Orange Flower", "Orange Muffin".

Analysis of literature sources showed that pectin obtained from Jerusalem artichoke, unlike pectin from pumpkin, is capable of forming weak gels, but is characterized by increased complex-forming ability. Therefore, we consider it advisable to combine these types of pectins to obtain a product with high functional and technological properties.

Pectic substances are capable of complexation, i.e., they are capable of entering into insoluble compounds with divalent metal ions. It is known that the complex-forming ability of pectins increases with a decrease in the degree of esterification, since low-esterified pectins have a greater number of reactive bonds not substituted by metaxylylated groups [10-12]. Therefore, in the acidic environment of gastric juice (pH=1.8-2.0), low-esterified pectin degrades to a much lesser extent than high-esterified pectin, its activity begins to manifest itself already in the stomach, which means earlier and longer contact with metal ions.

Recently, much attention has been paid to the anticarcinogenic effect of polysaccharides that are able to adsorb various exo- and endotoxins, heavy metals. This property of polysaccharides is widely used in therapeutic and prophylactic nutrition, for example, for the prevention of lead intoxications. We were interested in whether the developed thermostable filling "Orange" has a complexing ability for nickel, zinc, cadmium and lead cations. The thermostable filling from the company "Puratos", widely used in Ukrainian enterprises, was chosen as a control.

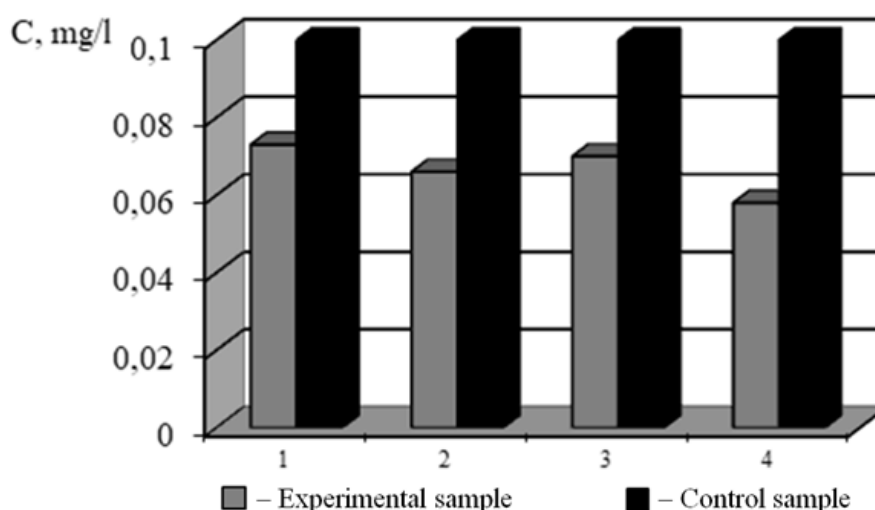


Figure 2 – Dependence of metal concentration in solutions on the presence of a thermostable filling (1 – Zn²⁺, 2 – Ni²⁺, 3 – Pb²⁺, 4 – Cd²⁺)

It was found that cations of all four metals form insoluble complexes with polysaccharides of the filling, as evidenced by a significant decrease in their concentration in the initial solution. The results of this study allow us to conclude that the addition of Jerusalem artichoke to the main raw

material makes it possible to obtain functional products of reduced calorie content with the content of a valuable complex of biologically active substances that contribute to the binding and excretion of toxicants from the human body.

Conclusions. The technology of thermostable filling has been theoretically substantiated, the technological feasibility of using pumpkin and Jerusalem artichoke puree in the technologies of thermostable fillings has been determined; rational recipes of thermostable filling have been determined in order to obtain products with specified structural and mechanical indicators; rational parameters of thermostable filling production have been investigated; recommendations for the use of filling in confectionery technologies have been developed; the protective properties of the new thermostable filling have been investigated. The new product can be recommended for use by all people, but especially those who live in industrial zones or work in hazardous industries. In the future, it is planned to conduct in vivo experiments to identify the radioprotective properties of the filling and the possibility of recommending it for use in areas with increased radiation exposure.

References

1. Steve, W.Cui; Yoon, HyukChang. (2014). Emulsifying and structural properties of pectin enzymatically extracted from pumpkin, *Food Science and Technology*, 58 (2), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.012>
2. Saha, D.; Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review, *Food Science and Technology*, 47 (6), 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>.
3. Balatska, N. Yu. (2008). *Marketingovi doslidzhennya na rinku solodkih sousiv* [Marketing research on the market of sweet souses]. *Ekonomichna strategiya i perspektivi rozvitku sferi torgivli ta poslug*, Harkiv, 2 (8), 282-286.
4. Food additives and ingredients / Vegetable purees – regional forecast for 2024-2032. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/vegetable-puree-market-104383>.
5. Vegetable Puree Market Research Report Information By Type (Tomato, Carrot, Beetroot, Pumpkin, Peas, Spinach, Butternut Squash, Zucchini, Bell Pepper, and Others), By Category (Organic and Conventional), By Application (Baby Nutrition, Beverages, Dairy & Frozen Desserts, Soups, Sauces, & Dressings and Others) And By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, And Rest Of The World) – Market Forecast Till 2032. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/vegetable-puree-market-5493>.
6. Slashcheva, A. V. (2023). Semi-finished product technology for frozen desserts. *Modern engineering and innovative technologies*, 28 (1), 52-61. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-28-01-041/>.
7. Wang, J.; Brennan, M.A.; Brennan, C.S.; Serventi, L. (2021). Effect of Vegetable Juice, Puree, and Pomace on Chemical and Technological Quality of Fresh Pasta. *Foods*, 10, 1931. <https://doi.org/10.3390/foods10081931>.
8. Oliviero, T.; Fogliano, V. (2016). Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 58–64.
9. Waterhouse, D.; Jin, D.; Waterhouse, G. I. N. (2013). Effect of adding elderberry juice concentrate on the quality attributes, polyphenol contents and antioxidant activity of three fibre-enriched pastas. *Food Research International*, 54, 781–789.
10. Slashcheva, A. V., Zolotukhina, I. V., Bodnaruk, O. A., Pereverzev, O. P. (2023). *Tekhnolohiia ta kharchova tsinnist funktsionalnoho piurepodibnoho napivfabrykatu dlia desertiv ta napoiv* [Technology and nutritional value of a functional pureed semi-finished product for desserts and drinks]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Food equipment and technologies], 2 (47), 19-26. <https://oblad.donnuet.edu.ua/index.php/tehnolog/article/view/217>.
11. Homich, G. P. (2012). *Naukovi osnovi tehnologiyi pererobki fruktovo-yagIdnoyi dikorosloyi sirovini* [Scientific bases of technology of processing of fruit and berries wild-growing raw materials], Odesa, 366 p.

12. Shevchenko, O. V. (2012). *Tehnologiya solodkih strav i sousiv iz vitapektinom ta fitosorbentom* [Technology sweet dishes and smoothies with capaccino and procorbiscom], Kyiv, 192 p.

Список літератури

1. Steve W. Cui, Yoon Hyuk Chang. Emulsifying and structural properties of pectin enzymatically extracted from pumpkin. *Food Science and Technology*. 2014. Is. 58. Vol. 2. P. 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.012>.
2. Saha D., Bhattacharya, S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. *Journal of Food Science and Technology*. 2010. Issue 6. Volume 47. P. 587–597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>.
3. Балацька Н. Ю. Маркетингові дослідження на ринку солодких пюре. *Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг*: зб. наук. пр. Х. : ХДУХТ, 2008. Вип. 2 (8). Ч.1 С. 282-286.
4. Food additives and ingredients / Vegetable purees – regional forecast for 2024-2032. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/vegetable-puree-market-104383>.
5. Vegetable Puree Market Research Report Information By Type (Tomato, Carrot, Beetroot, Pumpkin, Peas, Spinach, Butternut Squash, Zucchini, Bell Pepper, and Others), By Category (Organic and Conventional), By Application (Baby Nutrition, Beverages, Dairy & Frozen Desserts, Soups, Sauces, & Dressings and Others) And By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, And Rest Of The World) – Market Forecast Till 2032. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/vegetable-puree-market-5493>.
6. Slashcheva A. V. Semi-finished product technology for frozen desserts. *Modern engineering and innovative technologies*. 2023. № 28 (1). P. 52-61. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-28-01-041/>.
7. Wang J., Brennan M. A., Brennan C. S., Serventi L. Effect of Vegetable Juice, Puree, and Pomace on Chemical and Technological Quality of Fresh Pasta. *Foods*. 2021. № 10 (8). 1931. <https://doi.org/10.3390/foods10081931>.
8. Oliviero T., Fogliano V. Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. № 51. P. 58–64.
9. Waterhouse D., Jin D., Waterhouse G. I. N. Effect of adding elderberry juice concentrate on the quality attributes, polyphenol contents and antioxidant activity of three fibre-enriched pastas. *Food Research International*. 2013. № 54. P. 781–789.
10. Слащева А. В., Золотухіна І. В., Боднарук О. А., Переверзєв О. П. Технологія та харчова цінність функціонального пюреподібного напівфабрикату для десертів та напоїв. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2023. Вип. 2 (47). С. 19-26. <https://oblad.donnue.edu.ua/index.php/tehnolog/article/view/217>
11. Хомич Г. П. Наукові основи технології переробки фруктово-ягідної дикорослої сировини: дис. ... докт. техн. наук. Одеса, 2012. 366 с.
12. Шевченко О. В. Технологія солодких страв і пюре із вітапектином та фітосорбентом: дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2012. 192 с.

Мета – розробка технології термостабільної начинки на основі гарбуза та топінамбуру з високим вмістом низькоетерифікованих пектинів, дослідження її органолептичних показників та комплексоутворюючої здатності щодо деяких токсичних металів (цинку, нікелю, кадмію, свинцю).

Методи. Відбір проб проводився згідно з вимогами ДСТУ ISO 874-2002, готування проб до лабораторних аналізів – згідно ДСТУ 7040:2009. Визначення токсичних елементів здійснювалося: кадмію – за ДСТУ ISO 6561:2004, свинцю – за ДСТУ ISO 6633:2001, мий'яку – за ДСТУ ISO 6634:2004, цинку – за ДСТУ ISO 6636-2:2004, ртуті – за ДСТУ ISO 6637:2001.

Результати. Теоретично обґрунтовано технологію термостабільної начинки, визначено технологічну доцільність використання пюре гарбуза і топінамбура в технологіях термостійких начинок; визначено раціональні рецептури термостійкої начинки з метою отримання продукції із заданими структурно-механічними показниками; досліджено раціональні параметри виробництва термостабільної начинки; розроблено рекомендації щодо використання начинки в технологіях кондитерських виробів; досліджено протекторні властивості нової термостабільної начинки. Розроблено оригінальні технології кондитерських виробів з використанням термостабільної начинки «Оранж», а саме: пісочний тарт, крамбл, мафін, листкове тістечко «Оранжева квітка». Результати дослідження комплексоутворюючої здатності по відношенню до важких металів (цинку, нікелю, свинцю, кадмію) свідчать, що катіони всіх чотирьох металів утворюють з полісахаридами інгредієнтів начинки нерозчинні комплекси, про що свідчило значне зниження їхньої концентрації у вихідному розчині. Отримані дані дають нам можливість зробити висновок, що використання розробленої термостабільної начинки дає можливість одержання кондитерських виробів протекторної дії.

Ключові слова: технологія, термостабільна начинка, низькоетерифікований пектин, гарбуз, топінамбур, комплексоутворююча здатність, біопротекторні властивості.

Державний торговельно-економічний університет (м. Київ, Україна), e-mail:
v.gnitsevych@knute.edu.ua

ТЕХНОЛОГІЯ ДЕСЕРТУ НА ОСНОВІ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СУМІШІ

UDC 664.346

Gnitsevych V., Grand PhD of Engineering
Science, Professor
Rubanovych K., a graduate of a bachelor
degree

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine, e-mail: v.gnitsevych@knute.edu.ua

DESSERT TECHNOLOGY BASED ON FRUIT AND VEGETABLE COMPOSITION MIXTURE

Мета. Метою роботи є наукове обґрунтування і розроблення технології десертів з пінною структурою на основі плодово-овочевої композиції з використанням пекмезу.

Методи. Предметами досліджень були визначені: модельні композиції яблук, моркви, горобини, пекмез, мусові десерти. Хімічний склад мусів визначали розрахунковим методом. Органолептичну оцінку якості модельних систем мусів здійснювали методом профільного та сенсорного аналізу. Профілі будували за допомогою обчислювальної програми, розробленої на Visual Basic for Application (VBA) для MS Excel.

Результати. Наведено характерні особливості приготування десертів з пінною структурою та вимоги до приготування мусів. Проведено аналіз напрямів вдосконалення технології десертів з пінною структурою. Визначений напрям – підвищення поживної цінності за рахунок створення композиційних сумішей на основі плодової та овочевої сировини. Обґрунтовано вибір основних складових даної продукції. Досліджено плодову та овочеву сировину з метою розроблення композиційної суміші, яка дозволить підвищити поживну цінність мусового десерту без погіршення показників якості. Проведено експериментальні проробки щодо можливості вилучення цукру з рецептури за рахунок використання згущеного сиропу з фруктів – пекмезу. Визначено сенсорні показники модельних систем та обрано кращу за результатами як аналізу хімічного складу, так і дегустаційної оцінки. Досліджено поживну цінність мусу плодово-овочевого та побудовано профілограми якості. Наведено технологічну схему приготування мусу на основі плодово-овочевої композиційної суміші.

Ключові слова: десерти, мус, морква, яблука, чорноплідна горобина, пекмез, сенсорні показники якості, хімічний склад.

Постановка проблеми. Структура харчового раціону населення України нині не відповідає сучасним принципам здорового харчування. У раціоні населення багато продукції з легкозасвоюваними вуглеводами і недостатня кількість основних поживних речовин, включаючи джерела повноцінного білка, клітковини, вітамінів і мікроелементи (овочі, фрукти, овочі тощо). Результати досліджень реального стану харчування населення різних регіонів України свідчать про серйозні порушення в структурі харчування як дітей так і дорослих.

Спостерігається дефіцит вітамінів С, групи В, Е, β -каротину; макро- і мікроелементів: Са, Mg, Fe, Zn, та інших; харчових волокон. Дефіцит споживання вітамінів і мікроелементів серед населення України 55%, харчових волокон 30%. І, навпаки, спостерігається надлишкове споживання тваринних жирів і легкозасвоюваних вуглеводів [1].

Розроблення та впровадження у закладах ресторанного господарства інноваційних технологій страв та виробів з використанням натуральної сировини, здатних поповнити дефіцит незамінних харчових речовин для підвищення поживної цінності продукції та захисту організму людини від негативних біологічних і техногенних чинників, може суттєво покращити таку проблему харчування.

Десерти можуть бути джерелом широкого спектру біологічно активних речовин та функціональних інгредієнтів – повноцінних білків, незамінних амінокислот, розчинних вуглеводів, поліненасичених жирних кислот, пектинових речовин, мінеральних елементів, вітамінів, органічних кислот тощо через те, що до їхнього складу входять яйцепродукти, молочні продукти, різні наповнювачі (плоди, овочі, фрукти, ягоди, горіхи тощо) та структуроутворювачі різної природи [2]. Популярністю серед населення України користуються десерти з пінною структурою. Це мус, суфле, самбук, креми, основними характеристиками яких є гладка й оксамитова текстура, насичена повітрям маса, а також виразний, але ніжний смак.

Десерти з пінною структурою складаються з двох основних елементів – ароматичної основи та структуроутворювальних компонентів, що надають певну текстуру десерту. Так, яєчні білки використовують для утворення пінної структури, вершки – для емульгування. В якості загущувача можуть використовувати желатин або манну крупу. Смакова основа може варіюватися від шоколаду до фруктових або овочевих пюре в різних комбінаціях. Смакові інгредієнти надають характерний смак та аромат кожному типу десерту, наприклад, шоколадного, полуничного або ванільного. Обираючи компоненти базової рецептури, необхідно враховувати їхній склад, наприклад вміст вологи чи жиру, пектинів та кислот, які впливають на утворення структури продукту. Їх органолептичний профіль також повинен мати насичений та приємний смак, який зберігається після поєднання його зі структуроутворювальними компонентами. Кожен компонент в рецептурі десерту з пінною структурою виконує свою технологічну функцію, яка наведена на рис. 1.

Для досліджень обрано десерт з пінною структурою – мус. Класичні види мусу готують на білому, чорному або молочному шоколаді. Є муси в основі яких фруктове або ягідне пюре, лимонний, апельсиновий або мандариновий сік і прянощі. Терпкість манго в рецептурі дозволяє зрівноважити солодкий смак десерту. Є муси на основі кави. Розроблено бананово-молочний мус, карамельний. Такі інгредієнти, як авокадо, кокосовий крем або аквафаба (нутова вода), замінюють традиційні яйця та вершки, роблячи цей десерт доступним для веганів. Деконструйований мус є ще одним сучасним варіантом, де кожен компонент представлений окремо, але при споживанні створює відчуття класичного мусу. Також готують муси на базі італійської меренги і вершкового крем-сиру. Всі вони відрізняються гарними смаковими характеристиками.

В останні роки на ринку харчових продуктів та добавок з'явився пекмез – підсолоджувач, продукт переробки плодово-ягідної сировини. Він здебільше використовується у харчових технологіях. Склад і структура пекмезу відрізняються залежно від фруктів і процесу виробництва. Пекмез поділяють на дві основні групи: рідкий і твердий. Існують також різні класифікації. Підсолоджувач готують з багатьох видів фруктів, які відрізняються високим вмістом цукру, таких як виноград, яблуко, ріжкове дерево, слива, кавун, абрикос, інжир, цукровий буряк, глід, шовковиця, кукурудза, цукрова тростина, гарбуз, фініків тощо. Найбільш поширеними є виноградний підсолоджувач, а на другому місці – з шовковиці. На стадії виробництва пекмезу рідина, отримана з фруктів та уварена до досягнення певної в'язкості називається рідким пекмезом. Процес виробництва твердого підсолоджувача включає додавання однієї або кількох речовин, таких як яєчний білок, сухий

йогурт, крохмаль та мед. Твердий пекмез повинен мати колір від світло-білого до жовтувато-коричневого, твердий вигляд, без поділу фаз, без наявності рідкого середовища, а рідкий пекмез повинен мати темно-коричневу та рідку структуру з кольором від світло-коричневого до темно-коричневого. Крім того, за кольором пекмез також класифікується як світлий і темний. На підставі аналізу смакових властивостей пекмезу висунуто гіпотезу щодо можливого його використання як заміника цукру білого кристалічного в рецептурі мусу.



Рисунок 1 – Основні рецептурні компоненти десертів та їх технологічні властивості

Тому розроблення технологій десертів підвищеної харчової цінності та високими споживчими властивостями, в технології яких використані нетрадиційні композиції фруктової та овочевої сировини та виключений або частково замінений цукор на пекмез, завжди буде актуальною задачею рестораторів та технологів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сфера ресторанного бізнесу є галуззю економіки, що постійно розвивається. Враховуючи той факт, що ця сфера торкається інтересів майже всіх верств населення, вона вимагає до себе особливого підходу в різних сферах діяльності. З метою максимального задоволення інтересів споживачів необхідно впроваджувати інновації та технології, в тому числі такі, що базуються на вимогах нутриціології.

З огляду на проблематику харчування населення України покращенням поживної цінності десертної продукції без погіршення органолептичних показників займаються багато вчених та фахівців галузі. На сьогодні доведена можливість використання комбінації будь якої сировини в технологіях десертів. Розробленням нових технологій десертів, що базуються на використанні функціональних інгредієнтів природного походження, дає змогу задовольнити потреби організму людини у фізіологічно функціональних інгредієнтах, розширити асортимент страв та підвищити їх споживчу цінність. Над цією проблемою працювали українські та закордонні вчені, такі як Гринченко О. О., Бадрук В. В., Перцевий Ф. В.,

Никифоров Р. П., Польовик В. В., Wang X., Surh J. та ін. Більшість таких розробок базується на можливості використання молочних білків як структуроутворювачів у технологіях десертів [3-6]. Також розглядається можливість використання нетрадиційних видів сировини, що містять природні гідроколоїди, для отримання харчових систем із заданими структурними властивостями та текстурою. Так, авторами [7] досліджена можливість застосування рибного гідролізату колагену окремо або сумісно з іншими білками для формування пінної структури збитих десертів. Було обрано оптимальну концентрацію структуроутворювачів шляхом визначення піноутворювальної здатності та стійкості піни білкових гідроколоїдів, а також підібрано їх співвідношення в комплексі для введення в технології виробництва збитих десертів типу мус.

Актуальним є напрям розроблення низькокалорійних десертів. Серед інших запропоновано додавати пюре топінамбура та чорної смородини в технологію збитих десертів. Встановлено, що десерти, в які додали глюкозно-фруктозний сироп і сухий яєчний білок, мають високі фізико-хімічні та органолептичні показники якості, майже втричі нижчу калорійність, а додаткове внесення пюре з топінамбура та смородини покращує стабільність пінно-дисперсної структури [8]. Розроблено технологію збитих десертів лікувального призначення зниженої калорійності на основі комбінації фруктово-ягідної сировини з використанням цукрозамінників [9]. Авторами розглядається актуальність розроблення технологій низькокалорійних десертних виробів функціонального призначення – мусу яблучного з фруктозою та борошном кіноа. Ними проведені дослідження органолептичних, технологічних та фізико-хімічних показників, які довели доцільність використання фруктози та борошном кіноа. Таким чином, огляд наявних технологій десертів та інновацій показав різноманітність напрямів дослідження. Нами розглядається можливість використання пекмеzu в технології десертів, публікацій за цим напрямом не знайдено.

Мета статті. Метою роботи є наукове обґрунтування і розроблення інноваційної технології десертів з пінною структурою на основі плодово-овочевої композиції з використанням пекмеzu.

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботі розглянуто можливість підвищення поживної цінності мусів за рахунок використання плодово-овочевої композиційної суміші. Плоди та ягоди, як і овочі, є важливим джерелом вітамінів, мінеральних солей, водорозчинних цукрів, крохмалю, органічних кислот, пектинових речовин. Найбільшою кількістю пектинових речовин серед сортів яблук виділяється Гренні Сміт. За даними літературних джерел, враховуючи смакову та ароматичну комбінаторику для подальшого дослідження обрано таку сировину як морква, гарбуз, чорна горобина та банан (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад фруктової, ягідної та овочевої сировини, на 100 г [10]

Показники	Види сировини				
	Яблука	Морква	Банан	Гарбуз	Горобина
Білки, г	0,4	1,3	1,5	1,0	1,5
Жири, г	0,4	0,1	0,5	0,1	0,2
Вуглеводи, г	9,8	6,9	21	4,4	10,9
в т.ч. харчові волокна	1,8	3,5	1,7	2,0	4,1
Na, мг	26,0	21	31	4,0	4,0
K, мг	278,0	200	348	204	158
Ca, мг	16,0	45,1	8,0	25,0	28,0
Mg, мг	9,0	38,0	42,0	14,0	14
P, мг	11,0	55,0	28,0	25,0	55
Fe, мг	2,2	0,7	0,6	0,4	1,1
Каротиноїди, мг	30,0	1200	120	1500	1200
B ₁ , мг	0,03	0,06	0,04	0,1	0,01

B ₂ , мг	0,02	0,07	0,05	0,06	0,02
PP, мг	0,3	1,0	0,6	0,5	0,3
C, мг	10,0	5,0	10,0	8,0	15,0
Енергетична цінність, ккал	47	35	96	22	55

У плодах чорноплідної горобини міститься значна кількість поживних речовин: вітамінів Е, А, С, та практично вся група вітамінів В. Горобина містить більше антиоксидантів, ніж чорниця. Аскорбінова кислота є дуже важливим елементом для здоров'я людини, оскільки вона може стимулювати вироблення кров'яних тілець, а також діє як антиоксидант. У складі є аскорбінова і фолієва кислоти, йод, бор і магній, марганець, мідь і залізо. Ягоди багаті фруктозою і глюкозою. Плоди горобини гарно поєднуються з фруктами та овочами. Плоди горобини та моркви містять значну кількість харчових волокон.

Для зниження кількості легкозасвоюваних вуглеводів цукор замінено на натуральний згущений сироп, який виготовляють з фруктів, ягід та овочів – пекмез. Для модельних композицій використано пекмез з шовковиці рідкий. Пекмез містить вітаміни, антиоксиданти та флавоноїди. Хімічний склад пекмезу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад пекмезу з шовковиці [11]

Показники	Вміст	Показники	Вміст
Білки	2,9	Ca	96
Жири	1,1	Mg	67
Вуглеводи	72	P	54
Вміст фруктози	28	Fe	2,6
Вміст глюкози	35	Na	25
Енергетична цінність	310	Zn	0,48

Пекмез – це натуральний продукт, який дозволяє замінити цукор, він не містить добавок таких як ГМО та глютен. Фруктові нотки пекмезу гарно поєднуються з солодкими фруктами в мусовому десерті.

Провівши аналіз хімічного складу плодово-овочевої сировини, розроблено модельні композиції з використанням яблук, моркви та чорноплідної горобини у різних співвідношеннях з метою визначення раціональної композиційної суміші. У якості контролю обрана технологія мусу яблучного.

Таблиця 3 – Модельні композиції плодово-овочевої композиційної суміші, %

Сировина	Контроль	МК1	МК 2	МК 3	МК 4	МК 5
Яблука	70	40	40	40	38	40
Цукор	30	-	-	-	-	-
Пекмез	-	2	2	2	2	2
Морква	-	40	30	20	30	10
Горобина	-	18	28	38	30	48
Всього	100	100	100	100	100	100

Розрахунок хімічного складу модельних композицій та їх порівняння з контролем показав зменшення кількості вуглеводів від 29% (МК 1) до 31% (МК 5). При цьому кількість харчових волокон зростає $\approx 2,5 \dots 2,7$ рази, а білків $\approx 3,6 \dots 4,07$ рази (рис. 2).

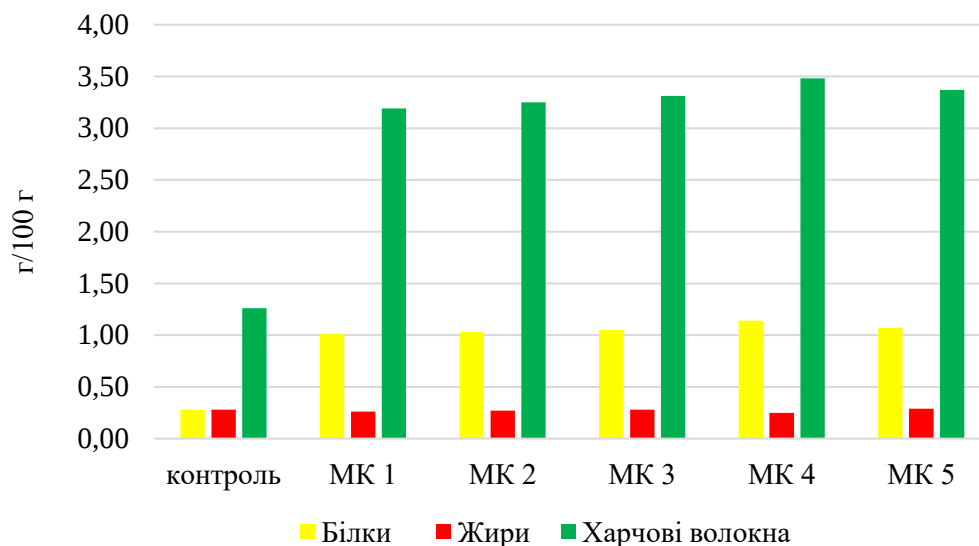


Рисунок 2 – Хімічний склад модельних композицій

Розрахунковим методом визначено вміст мінеральних речовин та вітамінів в модельних композиціях (табл. 4). Розрахунок показав, що у всіх дослідних зразках підвищується вміст мінеральних речовин та вітамінів, а енергетична цінність модельних композицій зменшується на 32....36%.

Таблиця 4 – Вміст вітамінів та мінеральних речовин модельних композицій

Показники	Контроль	МК1	МК 2	МК 3	МК 4	МК 5
Мінеральні речовини, мг/100г						
Na	18,50	20,02	18,32	16,62	16,12	14,92
K	195,50	219,64	215,44	211,44	203,44	207,04
Ca	12,10	31,4	29,69	27,98	30,89	26,27
Mg	6,30	22,66	20,26	17,86	20,76	15,46
P	7,70	37,38	37,38	37,38	41,78	37,38
Вітаміни, мг/100г						
B ₁	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
B ₂	0,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
PP	0,21	0,57	0,5	0,43	0,5	0,36
C	7,00	8,7	9,7	10,7	10,2	11,7
Енергетична цінність	152,60	48,9	50,9	52,9	51,7	54,9

Як видно з вищенаведеної інформації, показники хімічного складу модельних композицій значно покращуються в порівнянні з контрольним зразком. З метою визначення найкращої модельної композиції з точки зору споживних властивостей, проведена органолептична оцінка мусу з використанням плодово-ягідної композиції та повним вилученням цукру за 10-бальною шкалою, де визначали такі розширені показники якості, як зовнішній вигляд, колір, запах, смак, натуральність, однорідність, інтенсивність, насиченість, консистенція тощо.

В результаті ряду відпрацювань та серії проведених закритих дегустацій обрано найкращу за показниками поживної цінності та сенсорними характеристиками модельну композицію № 4. Органолептичні показники характеризуються високими значеннями: однорідна консистенція, колір насичений, смак та запах характерні для плодово-овочевої сировини, без сторонніх присмаків і запахів. За результатами органолептичної оцінки побудовано профілограми якості контрольного зразку та дослідного зразку з використанням яблук / моркви / горобини у співвідношенні 38:30:30 (рис. 3).

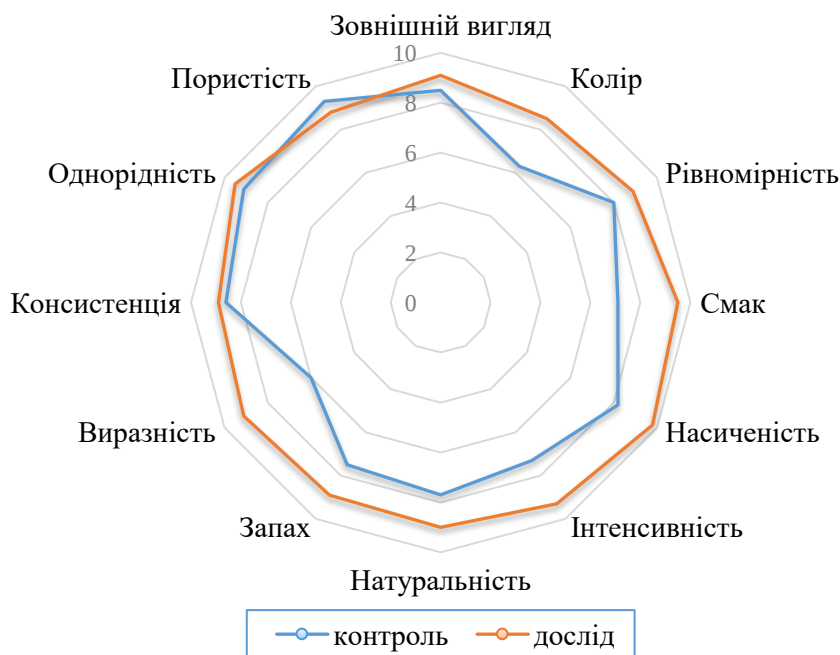


Рисунок 3 – Профілограма якості мусу з використанням плодово-овочевої композиційної суміші

За результатами проведеного дослідження розроблено технологію мусу з пекмезом з використанням плодово-овочевої композиційної суміші (рис. 4).

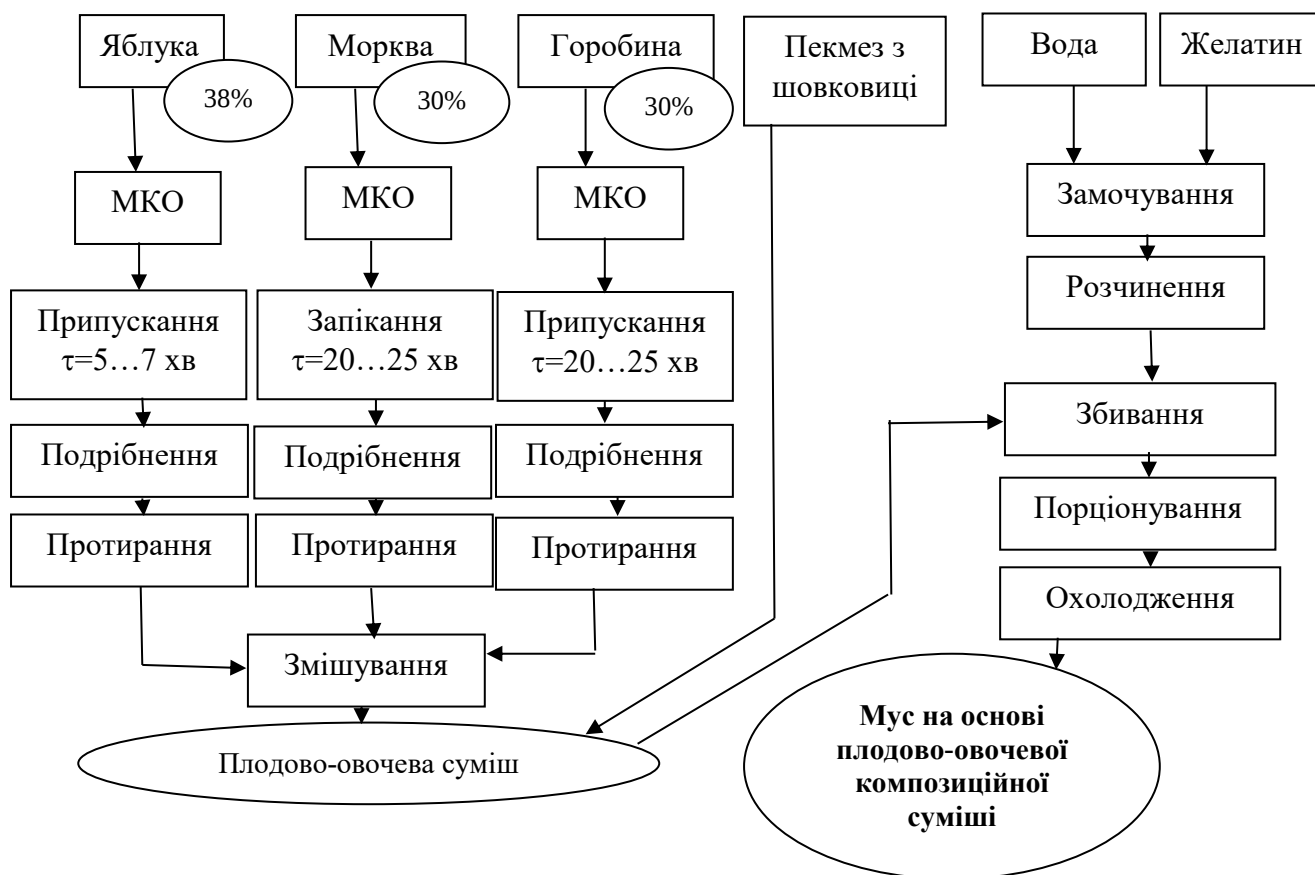


Рисунок 4 – Технологія приготування мусу на основі плодово-овочевої композиційної суміші

Висновки. Таким чином, за результатами аналітичного огляду літератури та ряду проведених досліджень обґрунтована доцільність використання композиційної суміші з яблук, моркви та горобини в технології десертів з пінною структурою підвищеної поживної цінності. Доведена можливість повного вилучення цукру та його заміну на пекмез. Доведено, що в розробленому десерті збільшено вміст харчових волокон в 2,7 рази, білків в 4,07 рази, збільшився вміст вітамінів С, В₁, В₂ та РР. Покращився мінеральний склад десерту. Енергетична цінність мусу при цьому зменшилась на 34%. В рецептурі використано тільки натуральну сировину.

Розроблений мус на основі плодово-овочевої суміші має шовковисту пінну текстуру, приємний неповторний смак та підвищений вміст поживних речовин. Отриманий десерт за показниками якості відповідає встановленим вимогам та може бути впроваджений у закладах ресторанного господарства для харчування всіх верств населення.

Список літератури

1. Давидова О. Ю. Новітні технології та тренди ресторанного бізнесу. *Journal of management, economics and technology*. 2024. № 1. С.58-67.
2. Тележенко Л. М., Золовська О. В. Корисні десерти: монографія. Херсон: Гринь Д.С. 2017. 152 с.
3. Никифоров Р. П., Сімакова О. О., Слащева А. В., Назаренко І. А. Наукове обґрунтування технології новітніх харчових продуктів на основі білково-вуглеводної молочної та рослинної сировини: *моногр.* Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2019. 185 с.
4. Кондрашина Л. А., Бідюк Д.О., Гурський П.В., Перцевий Ф.В., Боковець С.П. Дослідження впливу технологічних факторів на піноутворювальні властивості розчинів желатину. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі*. 2 (30). ХДУХТ. 2019. С. 83–95.
5. Protte K., Weiss J., Hinrichs J., Knaapila A. Thermally stabilised whey protein-pectin complexes modulate the thermodynamic incompatibility in hydrocolloid matrixes: A feasibility-study on sensory and rheological characteristics in dairy desserts. *LWT* 105. 2019. P. 336–343.
6. Rubanka K., Gorodyska O. Study of the influence of alkalized cocoa powder on the structural and mechanical properties of instant mousses. *Scientific collection «Intercon F»*. 1 (37). 2020. P. 971–976.
7. Тележенко Л., Дзюба Н., Олійник М., Шелудько В. Дослідження факторів впливу на піноутворення білкових гідроколоїдів. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2024. 32 (1). С. 223-232.
8. Радько І. С., Арпуль О. В., Кобець О. С. Дослідження властивостей самбуків зниженої енергетичної цінності. *Технологія харчової та легкої промисловості*. 2019. № 30 (69). Ч. 2. № 6. С. 133-139.
9. Антоненко А. В., Бровенко Т. В., Стукальська Н. М., Криворучко М. Ю., Толлок Г. А., Тонких О. Г. Технологія десертів функціонального призначення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. № 5. 27-37.
10. Хімічний склад харчових продуктів. Таблиці. URL: <https://ecology.pdmu.edu.ua/storage/common/docs/q1kIOXPxo8pRGWXUjevEDiMJcsXXWOCh2eCsZdTn.pdf> (дата звернення: 20.11.2024).
11. Physical and chemical properties of Pekmez (Molasses) produced with different grape cultivars. URL: https://www.researchgate.net/publication/308382968_Physical_and_chemical_properties_of_Pekmez_Molasses_produced_with_different_grape_cultivars (дата звернення: 18.11.2024).

References

1. Davydova, O. Yu. (2024). *Novitni tekhnolohii ta trendy restorannoho biznesu* [The latest technologies and trends in the restaurant business], *Journal of management, economics and technology*, 1, 58-67.
2. Telezhenko, L. M. Zolovs'ka, O. V. (2017). *Korysni deserty* [Healthy desserts]: monograph. Kherson: Vyd. Hrin' D.S., 152 p.
3. Nykyforov, R. P., Simakova, O. O., Slashcheva, A. V., Nazarenko, I. A., Ghorjajnova, Ju. A., Popova, S. Ju. (2019). *Naukove obgruntuvannia tekhnolohii novitnikh kharchovykh produktiv na osnovi bilkovo-vuhlevodnoi molochnoi ta roslynnoi syrovyny* [Scientific substantiation of the technology of the latest food products based on protein-carbohydrate dairy and vegetable raw materials]: monograph. Kryvyj Rih: DonNUET, 185 p.
4. Kondrashyna, L. A., Bidjuk, D. O., Ghurskyj, P. V., Percevoj, F. V., Bokovecj, S. P. (2019). *Doslidzhennia vplyvu tekhnolohichnykh faktoriv na pinoutvoriuvanni vlastyvosti rozchyniv zhelatynu* [Study of the influence of technological factors on the foaming properties of gelatin solutions], *Prohresyvnii tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho hospodarstva ta torhivli* [Progressive equipment and technologies of food production, restaurant management and trade], 2 (30), 83–95.
5. Protte, K., Weiss, J., Hinrichs, J., Knaapila, A. (2019). Thermally stabilised whey protein-pectin complexes modulate the thermodynamic incompatibility in hydrocolloid matrixes: A feasibility-study on sensory and rheological characteristics in dairy desserts. *LWT*, 105, 336–343.
6. Rubanka, K., Gorodyska, O. (2020). Study of the influence of alkalized cocoa powder on the structural and mechanical properties of instant mousses. *Scientific collection «Intercon F»*, 1 (37), 971–976.
7. Telezhenko, L., Dziuba, N., Olijnyk, M., Shelud'ko, V. (2024). *Doslidzhennia faktoriv vplyvu na pinoutvorennia bilkovykh hidrokolidiv* [Research into factors influencing foaming of protein hydrocolloids], *Journal of Chemistry and Technologies*, 32 (1), 223-232.
8. Rad'ko, I. S., Arpul', O. V., Kobets', O. S. (2019). *Doslidzhennia vlastyvostej sambukiv znyzhenoi enerhetychnoi tsinnosti* [Studies on the properties of sambuca with reduced energy value], *Tekhnolohiia kharchovoi ta lehkoi promyslovosti* [Food and light industry technology], 30 (69), № 6, 133-139.
9. Antonenko, A. V., Brovenko, T. V., Stukal's'ka, N. M., Kryvoruchko, M. Yu., Tolok, H. A., & Tonkykh, O. H. (2022). *Tekhnolohiia desertiv funktsional'noho pryznachennia* [Functional dessert technology], *Tavrijs'kyj naukovyj visnyk. Serii: Tekhnichni nauky* [Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences], (5), 27-37.
10. Chemical composition of food products. Tables [Khimichnyj sklad kharchovykh produktiv. Tablytsi]. URL: <https://ecology.pdmu.edu.ua/storage/common/docs/q1kIOXPxo8pRGWXUjevEDiMJcsXXWOCh2eCsZdTn.pdf>.
11. Physical and chemical properties of Pekmez (Molasses) produced with different grape cultivars. URL: https://www.researchgate.net/publication/308382968_Physical_and_chemical_properties_of_Pekmez_Molasses_produced_with_different_grape_cultivars.

Objective. The purpose of the work is to scientifically substantiate and develop an innovative technology for desserts with a foam structure based on a fruit and vegetable composition using jam.

Methods. The subjects of the research were: model compositions of apples, carrots, mountain ash, jam, mousse desserts. The chemical composition of mousses was determined by the calculation method. The organoleptic quality assessment of model mousse systems was carried out by the method of profile and sensory analysis. Profiles were built using a computer program developed on Visual Basic for Application (VBA) for MS Excel.

Results. *The technology of a semi-finished product based on mashed pumpkin pulp with Results. The characteristic features of the preparation of desserts with a foam structure and the requirements for the preparation of mousses are presented. An analysis of the directions for improving the technology of desserts with a foam structure was conducted. The direction was determined – increasing nutritional value by creating composite mixtures based on fruit and vegetable raw materials. The choice of the main components of this product was justified. Fruit and vegetable raw materials were studied in order to develop a composite mixture that would increase the nutritional value of a mousse dessert without deteriorating quality indicators. Experimental studies were conducted on the possibility of extracting sugar from the recipe by using condensed fruit syrup – pekmez. Sensory indicators of model systems were determined and the best one was selected based on the results of both the analysis of the chemical composition and the tasting assessment. The nutritional value of fruit and vegetable mousse was studied and quality profilograms were constructed. A technological scheme for preparing mousse based on a fruit and vegetable composite mixture was presented.*

Keywords: *desserts, mousse, carrots, apples, chokeberry, pekmez, sensory quality indicators, chemical composition.*

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

DOI : 10.33274/2079-4827-2024-49-2-23-30

UDC 664.664.4:663.918

Yudina T. I., Grand PhD of Engineering¹

Bezruchenko O. M., PhD, lecturer²

Serenko A. A., PhD, senior lecturer¹

¹State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine, e-mail: yudina2902@gmail.com

²Separate structural unit «Vinnitsa trade and economics college of the State Trade and Economics University», Vinnitsa, Ukraine.

THE INFLUENCE OF SUGAR ON THE STATE OF THE CARBOHYDRATE AMYLASE COMPLEX OF GLUTEN-FREE CAKES

УДК 664.664.4:663.918

Юдіна Т. І., д-р техн. наук, професор¹

Безрученко О. М., PhD, викладач²

Серенко А. А., PhD, ст. викладач¹

¹Державний торговельно-економічний університет (м. Київ, Україна), e-mail: yudina2902@gmail.com

²Відокремлений структурний підрозділ «Вінницький торговельно-економічний фаховий коледж Державного торговельно-економічного університету» (м. Вінниця, Україна)

ВПЛИВ ЦУКРУ НА СТАН ВУГЛЕВОДНО-АМІЛАЗНОГО КОМПЛЕКСУ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ КЕКСІВ

Objective. Research into the influence of sugar content on organoleptic, physicochemical and rheological indicators, in particular on the parameters of starch gelatinization of a gluten flour mixture, the state of its carbohydrate-amylase complex, which determine the dough formation processes and the quality of finished gluten-free cakes.

Methods. To ensure the fulfillment of the tasks, standard generally accepted and special research methods were used. Samples were selected and prepared for research according to DSTU ISO 6498:2006. The mass fraction of dry substances was determined by the refractometric method; the mass fraction of carbohydrates - by the Bertrand-Bierry centrifugal method; the starch gelatinization temperature, the maximum viscosity index for various model systems - using the Brabender amylograph..

Results. The recipe and technology of gluten-free cakes with milk-protein concentrate of buttermilk have been developed. In the developed technology, a mixture of corn and rice flour was used as flour, and the structure-forming component was milk-protein concentrate of buttermilk. The influence of individual recipe components, in particular sugar, on the physicochemical, rheological and organoleptic parameters of model food systems of gluten-free cakes with MPC buttermilk was determined. The influence of sugar on the parameters of starch gelatinization of flour, the state of its carbohydrate-amylase complex, dough formation processes in the technology of gluten-free cakes and the quality of finished products were studied. It has been proven that in further studies it is advisable to reduce the sugar content by 10...15% in the recipe of gluten-free cakes as one of the effective ways of influencing the processes of protein swelling and starch gelatinization of the mixture of gluten flour in order to obtain products with certain physicochemical and organoleptic quality indicators.

Keywords: *gluten, celiac disease, gluten flour, milk-protein concentrate, gluten-free muffins, sugar, starch, carbohydrate-amylase complex, quality indicators*

Formulation of the problem. Due to the rapid growth in the world and, in particular, in Ukraine, of food-related diseases, the number of people with excess body weight, fermentopathies, and the limitation of natural food resources, the problem of developing technologies for flour confectionery products (FCP) with a regulated nutrient composition, in particular gluten-free, as a group of products characterized by increased demand from the population, has become dominant.

Gluten-free food is currently a healthy eating trend. Millions of people around the world have started consuming gluten-free foods (cereal protein from wheat, rye, barley, oats) due to the general perception of health promotion and disease prevention, dissemination of information among consumers, intensification of marketing activities and improvement of sales channels for gluten-free products [1, 2].

Analysis of recent research and publications. The creation of scientific and practical principles for the production of gluten-free flour confectionery products is devoted to the works of domestic and foreign scientists: V.V. Dorokhovych, O.V. Nemyrich, A. V. Gavrisha, O.I. Shapovalenko, O.S. Pavlyuchenko, N.V. Chornoi, T. O. Lisovska, Camino M., Jeffrey L., Trif A., and others [3-9].

The scientific works of scientists are aimed at finding new technological solutions for the creation of flour confectionery products of increased biological value by involving certain types of gluten-free flour raw materials, non-traditional dairy raw materials on the principles of resource conservation, which determines the perspective and relevance of this scientific direction.

In the course of developing recipes for gluten-free flour confectionery products, in particular cupcakes, the most close attention, in our opinion, deserves the problem of imitating the structure-forming properties of gluten-containing raw materials. The absence of gluten in gluten-free flour raw materials and the need to create a porous, elastic structure of gluten-free dough and finished flour confectionery products requires solving the problem of forming rheological properties that provide a texture adequate to traditional products.

Scientists of the State University of Trade and Economics have developed a recipe and technology for gluten-free cakes with milk protein concentrate (MPC) of buttermilk [10]. The developed technology involves the use of flour, sugar, butter, milk protein component, melange, ammonium bicarbonate, sodium bicarbonate, which differs in that a mixture of corn and rice flour is used as flour, and milk protein concentrate of buttermilk as a structure-forming agent. The products are characterized by a beautiful appearance, a convex surface without breaks, a dense crumb of light brown color with a texture that is adequate to the traditional "Cheese" cake [11]. At the same time, the results of organoleptic evaluation revealed a very sweet taste of the products, which negatively affects the consumer properties of the finished cakes.

In the technology of gluten-free cakes using chemical leavening agents, up to 35% of sugar is used [11], which, in addition to shaping the taste of the products, also plays the role of a structure-forming and foaming stabilizer in the complex colloidal system of the cakes dough, increasing the viscosity of the system. The stabilizing effect of sugar is due to the dehydrating effect on the protein, which leads to the formation of a hard film that increases the stability of the foam system of the egg-sugar mass [12].

Sugar also has a significant effect on the parameters of starch gelatinization of flour. Considering that starch plays an important role in forming the structure of gluten-free cakes, even minor changes in the process of its gelatinization will have a significant effect on the quality of the finished products [13].

Objective of the article. The aim of this work is to study the influence of sugar content on organoleptic, physicochemical and rheological indicators, in particular on the parameters of starch gelatinization of a gluten flour mixture, the state of its carbohydrate-amylase complex, which determine the dough formation processes and the quality of finished gluten-free cakes.

Presentation of the main research material. The process of making cakes dough with and without chemical leavening agents consists of the following stages: whipping butter with sugar or melange with sugar; mixing the whipped mass with other recipe ingredients, except flour; then adding flour, preparing and forming the dough; baking and finishing. At the same time, the technological properties of the main raw materials have a significant impact on the quality of the cupcake dough and finished products.

The technological process of cakes production involves the use of short-term mixing with flour, therefore, the swelling of flour proteins does not occur to the full extent, in this case, the formation of the structure of the dough and baked cakes is significantly influenced by the properties of starch in the flour suspension. Therefore, during the heat treatment of products in the technological process, it is important to determine the temperature of starch gelatinization and the maximum viscosity of the water-flour suspension, which will become the basis for determining the recipe and parameters of heat treatment of gluten-free cakes.

The temperature of the beginning of starch gelatinization, the temperature at which the maximum viscosity was established, as well as the maximum viscosity index for various model systems were determined using a Brabender amylograph.

The results of decoding the amylograms obtained during the analysis of the control sample, samples of the model systems "FR:FC (60:40) - sugar - water" with a decrease in the amount of sugar by 5%, 10%, 15%, 20% relative to the sugar content in the control are given in Table 1.

Table 1 – The effect of sugar on the starch properties of a mixture of rice and corn flour

Model	Reducing the amount of sugar in the recipe, %	Indicator values			
		Time of beginning of gelatinization, τ·60 c	The temperature of the beginning of gelatinization, °C	Suspension temperature at maximum viscosity, °C	Maximum viscosity, units.a
Control 1 (FW-water)		8	55	72	620
Control 2 (FW-sugar-water)		5	60	78	690
Sample 1	5,0	6	72	82	720
Sample 2	10,0	5	72	82	780
Sample 3	15,0	4	71	80	920
Sample 4	20,0	3	68	78	≥ 1000

Analysis of the amylograms (Table 1) shows that for water-flour control models, the maximum gelatinization temperature (78°C) and maximum suspension viscosity (more than 690 units a) are similar to the “wheat flour-sugar-water” sample. This is due to the fact that the high concentration of sugar in the liquid phase slows down the diffusion rate during the swelling of proteins and starch in wheat flour, causing the formation of a more viscous system and reducing the competition between protein and starch for water [14].

As is known, sucrose (sugar) delays the swelling of starch grains in water by preventing free contact of water with them [15]. Analyzing the results of the studies, we can conclude that sugar increases the gelatinization temperature of starch. The gelatinization temperature, as can be seen from Table 1, for sample 1 “mixture of rice and corn flour-sugar-water” is 82°C, and reducing sugar to 20% in sample 4 affects the decrease in the gelatinization temperature to 78°C. The change in the gelatinization temperature is an important indicator that characterizes the subsequent process of starch

retrogradation during the storage of finished products, because it is known that the lower the gelatinization temperature, the longer the products retain their freshness during storage [15].

The dependence of the maximum viscosity of the suspension on the sugar content (Table 1) allows us to characterize the properties of gluten-free cakes with MPC of buttermilk during baking. The porous structure of the product is fixed as a result of the coagulation of flour proteins and the transformation of starch into a thick paste. With a 20% decrease in sugar in the muffin recipe, the amylogram shows a high maximum viscosity, which indicates the binding of starch during the gelatinization of a large amount of water. As a result, a low-stretch starch paste and a muffin with an excessively brittle crumb are formed.

The results of rheological studies of dough samples for gluten-free cakes with MPC of buttermilk with different sugar contents are shown in Figure 1.

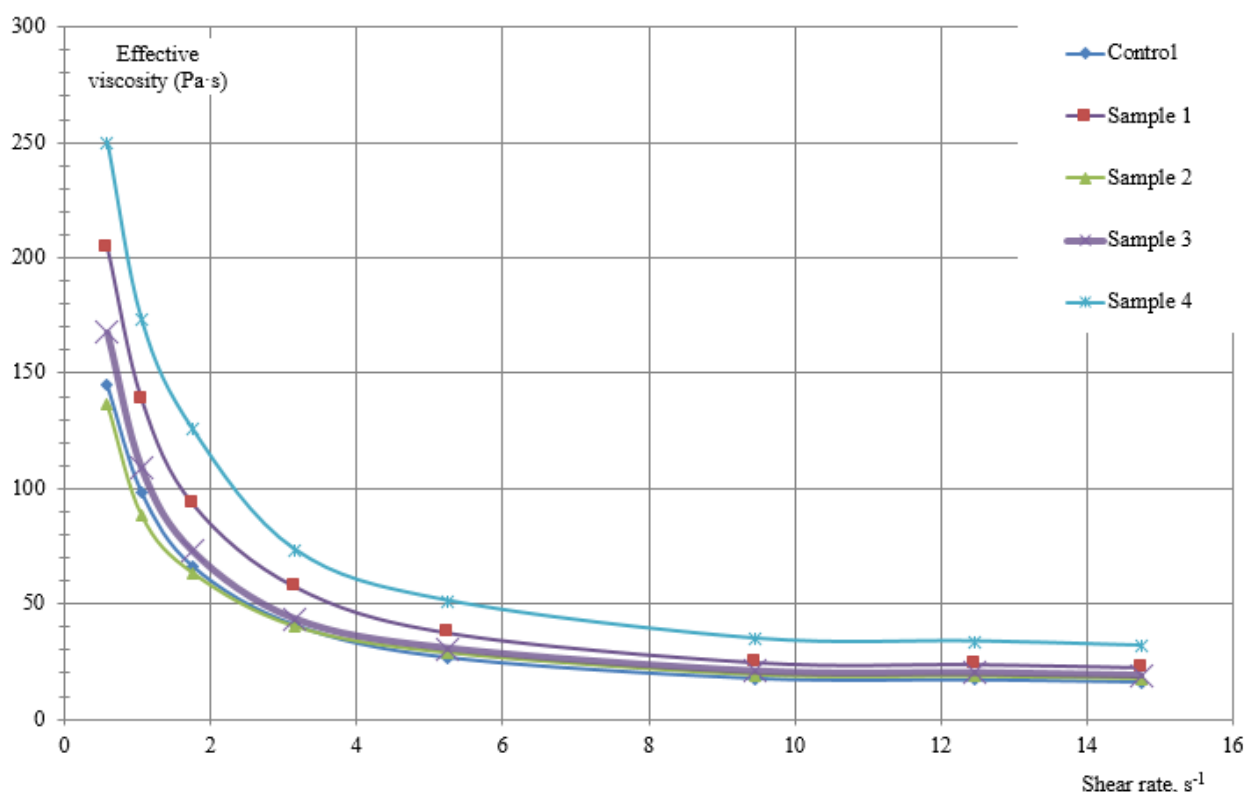


Figure 1 – Rheological curves of the dependence of effective viscosity ($Pa \cdot s$) on shear rate (s^{-1}) in dough for gluten-free cakes with MPC of buttermilk with different sugar contents:

control – sugar content 27.6 wt. %;
 sample 1 (-5%) – sugar content 26.2 wt.%;
 sample 2 (-10%) – sugar content 24.8 wt.%;
 sample 3 (-15%) – sugar content 23.4 wt.%;
 sample 4 (-20%) – sugar content 22.0 wt.%.

Reducing the amount of sugar by 5% leads to a decrease in the effective viscosity by 27...29%. Further, with a decrease in the sugar content from 15 to 20%, the viscosity of the samples increases. Thus, with a decrease in the sugar content by 20%, the effective viscosity increases by 32...37% over the entire range of shear rates. The destruction of the dough structure of sample 4 occurs at a shear rate of $9.4 s^{-1}$, while the rest of the samples at $10.2 s^{-1}$.

The presented results of the study of the viscosity of dough samples correlate well with the results obtained above.

During laboratory baking, it was found (table 2, figure 2) that a decrease in the sugar content by 10...15% of the recipe amount does not worsen the quality of the baked product.

A decrease in the sugar content in the recipe by more than 20% leads to a decrease in the porosity and specific volume of the products. The organoleptic properties of finished cupcakes also deteriorate [14].

Table 2 - Quality indicators of gluten-free cakes made from MPC of buttermilk with different sugar contents

Indicators	Control	Sample 1 (- 5,0%)	Sample 2 (- 10,0%)	Sample 3 (- 15,0%)	Sample 4 (- 20,0%)
Specific volume, cm ³ /g	1,36	1,4	1,35	1,3	1,25
Porosity, %	16,67	18,2	15,97	14,8	10,43
Appearance	The shape is round, typical of the form in which the products are baked, without cracks; the surface is convex, with the presence of minor cracks and tears that do not change the product's appearance.				
Crust color	Light brown, bottom and lateral surface lighter				Brown
View of the break-in	Well baked, without tempering and traces of non-promis, light yellow in color.				Undercooked, yellow in color
Taste and smell	Pronounced, balanced, typical of this type of cake	Pronounced, typical of this type of cupcake, very sweet	Pronounced, balanced, typical of this type of cupcake, without any foreign aftertaste		



a) Control



b) Sample 1



c) Sample 2



d) Sample 3



f) Sample 4

Figure 2 – Appearance of gluten-free cakes with different sugar contents when broken

Conclusions. One of the effective ways to influence the processes of protein swelling and starch gelatinization of flour in order to obtain products with certain physicochemical and organoleptic quality indicators is to change the recipe amount of sugar. Based on the conducted studies and recommendations of scientists [13, 15], we predict in further studies a reduction in the sugar content in the recipe of gluten-free cakes by 10...15%. This will not affect the deterioration of the quality of finished products [14].

References

1. Kraievskaya, S., Stetsenko, N. (2018). *Formuvannya vitchyznianogo rynku bezhlyutenovykh kharchovykh produktiv* [Formation of the domestic gluten-free food market]. *Tovary i rynky* [Commodities and Markets], 4, 36-46. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018\(28\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018(28)03).
2. Trends and opportunities in the growing market for gluten-free foods URL: <http://www.mintel.com>.
3. Dorokhovych, V. V., Lazorenko, N. P. (2013). *Bezhlyutenovi boroshnyani kondyters'ki vyroby* [Gluten-free flour confectionery products], *Obladnannya ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv* [Food Equipment and Technology], 30, 341-347.
4. Dudkina, O. O., Gavrysh, A. V., Nemirich, O. V., Ishchenko, T. I., Ternavska, I. M. (2016). *Pokaznyky yakosti ta bezpeky fondaniv spetsial'noho pryznachennya* [Quality and safety indicators of fondans for special purpose], *Scientific Messenger LNUVMBT named after S.Z. Gzhytskyj*, 18, 2(68), 134-138.
5. Shapovalenko, O., Pavliuchenko, O., Furmanova, Y., Sharan, L., Kuzmin, O. (2020). Improvement of the recipe composition of special purpose gluten-free chocolate muffins. *Food science and technology*, 4, 20-27.
6. Lisovska, T. O.; Chorna, N. V. (2020). *Tekhnolohiia biskvitnoho napivfabrykatu z vykorystanniam boroshna kukurudzyanoho ekstrudovanoho* [Technology of sponge cake semifinished product using extruded corn flour], Kharkiv, KhDUHT, 126 p.
7. Camino Mancebo, Patricia Rodriguez, Manuel Gomez. (2016). Protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies, *LWT-Food Scienc and Technology*, 67, 127-132.
8. Jeffrey, L., Atwell, W. (2014). *Gluten-free baked products*. AACC International, Inc. 88 p.
9. A. Trif, A. Vârban, L. Pîrvulescu, D.N. Raba. (2018). The technology of making a pastry product from tender dough. *Lucrări științifice*. I (3), 188-194.
10. Yudina, T. I., Bezruchenko, O. M., Ahapova, O.V. (2020). Gluten-free cakes with cereal flour. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv* [Food Equipment and Technology], 40 (1), 19-25.
11. Pavlov, O. V. (2018). *Collection of recipes for flour confectionery and bakery products* [Zbirnyk retseptur boroshnyanykh kondyters'kykh i zdobnykh bulochnykh vyrobiv]. Kyiv: ProfKnyha, 236-237.
12. Lisovska, T. O., Shurankova, V. S., Chorna, N. V. (2014). *Amilohrafichni doslidzhennya boroshnyanykh sumishchei* [Amilographic studies of flour mixtures]. In: *Innovative technologies for development in the field of food production, hotel and restaurant business, economics, and entrepreneurship*, Proceedings of the All-Ukrainian scientific conference of young scientists and students (Kharkiv, March 26, 2014, Part 1). Kharkiv: KhDUHT, 22.
13. Dorokhovych, V.V. (2008). *Doslidzhennya vplyvu tradytsiynykh ta netradytsiynykh tsukrozaminnykh na reolohichni vlastyvoli tistovykh mas dlya zdobnoho pechyva* [Study of the influence of traditional and non-traditional sugar substitutes on the rheological properties of dough masses for butter cookies]. In: Kharkiv State Academy of Food Technology, *Progressive equipment and technologies of food production, restaurant industry and trade*, Collection of scientific works, 46-51.
14. Bezruchenko, O. M. (2023). *Tekhnolohiia bezhlyutenovykh keksiv z molochno-bilkovoho kontsentraty skoloty* [Technology of gluten-free cakes with milk-protein concentrate of buttermilks]. Doctor of Philosophy Thesis. State University of Trade and Economics.

15. Kovbasa, V. M., Dorokhovych, V.A. (2008). *Vplyv tsukrozaminnykiv na formuvannya kleikovynnoho kompleksu* [Influence of sugar substitutes on the formation of the gluten complex]. *Torhivlya, komertsiya, pidpryyemnytstvo*, 9, 141-146.

Список літератури

1. Краєвська С., Стеценко Н. Формування вітчизняного ринку безглютенових харчових продуктів. *Товари і ринки*. 2018. № 4. С. 36–46. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018\(28\)03](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018(28)03).
2. Trends and opportunities in the growing market for gluten-free foods URL: <http://www.mintel.com>.
3. Дорохович В. В., Лазоренко Н.П. Безглютенові борошняні кондитерські вироби. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2013. Вип. 30. С. 341-347.
4. Дудкіна О.О. Гавриш А.В., Неміріч О.В., Іщенко О.В., Тернавська І.М. Показники якості та безпеки фонданів спеціального призначення. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького*. 2016. Т.18. №2 (68). С.134-138.
5. Shapovalenko O., Pavliuchenko O., Furmanova Y., Sharan L., Kuzmin O. Improvement of the recipe composition of special purpose gluten-free chocolate muffins. *Food science and technology*. 2020. №4. P. 20-27.
6. Лісовська Т. О., Чорна Н. В. Технологія бісквітного напівфабрикату з використанням борошна кукурудзяного екструдованого: монографія. Харків: ХДУХТ, 2020. 126 с.
7. Camino Mancebo, Patricia Rodriguez, Manuel Gomez Protein mixtures to produce gluten free sugar-snap cookies. *LWT-Food Scienc and Technology*. 2016. Vol. 67. P. 127-132.
8. Jeffrey L., Atwell W. Gluten-free baked products. AACC International, Inc. 2014. 88 p.
9. A.Trif, A Vârban, L. Pîrvulescu, D.N. Raba The technology of making a pastry product from tender dough. *Lucrări științifice*. 2018. Seria I, Vol. XX (3). Pp.188-194.
10. Yudina T. I., Bezruchenko O. M., Ahapova O.V. Gluten-free cakes with cereal flour. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. Вип. 40 (1). С. 19-25.
11. Павлов О. В. Збірник рецептур борошняних кондитерських і здобних булочних виробів. Київ: ПрофКнига, 2018. С. 236-237.
12. Лісовська Т. О., Шуранкова В. С., Чорна Н. В. Амілографічні дослідження борошняних сумішей // *Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва*: тези доп. Всеукр. наук. конф. мол. учених і студ., 26 березня 2014 р. Х.: ХДУХТ, 2014. Ч. 1. С. 22.
13. Дорохович В. В. Дослідження впливу традиційних та нетрадиційних цукрозамінників на реологічні властивості тістових мас для здобного печива. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. пр. Х.: ХДАХТ. 2008. С.46-51.
14. Безрученко О. М. Технологія безглютенових кексів з молочно-білковим концентратом сколотин: дис. ... докт. філософії: спец. 181 «Харчові технології». Київ: ДТЕУ, 2023. 251 с.
15. Ковбаса В. М. Вплив цукрозамінників на формування клейковинного комплексу / В. Н. Ковбаса, В. В. Дорохович. *Торгівля, комерція, підприємництво*. 2008. Вип. 9. С. 141-146.

Мета. Дослідження впливу вмісту цукру на органолептичні, фізико-хімічні та реологічні показники, зокрема, на параметри клейстеризації крохмалю суміші аглютенного борошна, стан його вуглеводно-амілазного комплексу, що обумовлюють процеси тістоутворення та якість готових безглютенових кексів.

Методи. Для забезпечення виконання поставлених завдань використано стандартні загальноприйняті та спеціальні методи досліджень. Відбір проб і підготовку їх до дослідження здійснювали за ДСТУ ISO 6498:2006. Масову частку сухих речовин визначали рефрактометричним методом; масову частку вуглеводів – центрифужним методом

Бертрана-Б'єррі; температуру клейстеризації крохмалю, показник максимальної в'язкості для різних модельних систем – за допомогою амілографа Brabender.

Результати. Розроблено рецептуру та технологію безглютенових кексів з молочно-білковим концентратом сколотин. У розробленій технології в якості борошна використано суміш кукурудзяного та рисового борошна, структуроутворюючого компонента – молочно-білковий концентрат сколотин. Визначено вплив окремих рецептурних компонентів, зокрема, цукру, на фізико-хімічні, реологічні та органолептичні показники модельних харчових систем безглютенових кексів з МБК сколотин. Досліджено вплив цукру на параметри клейстеризації крохмалю борошна, стан його вуглеводно-амілазного комплексу, процеси тістоутворення у технології безглютенових кексів та якість готових виробів. Доведено, що у подальших дослідженнях є доцільним зменшення вмісту цукру на 10...15%, у рецептурі безглютенових кексів, як один з ефективних способів впливу на процеси набрякання білків та клейстеризацію крохмалю суміші аглютенового борошна з метою отримання виробів з певними фізико-хімічними та органолептичними показниками якості

Ключові слова: глютен, целіакія, аглютенове борошно, молочно-білковий концентрат, безглютенові кекси, цукор, крохмаль, вуглеводно-амілазний комплекс, показники якості.

Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент
Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент
Кісліченко В. М., здобувач ОС магістра
Бальвас Д. Г., здобувач ОС бакалавра
Гоманкова С. Ю., здобувач ОС бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: Goryaynova@donnuet.edu.ua

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ХЛІБА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ДОБАВКАМИ КІВІ, ТОПІНАМБУРА ТА ЦИБУЛІ-СЛИЗУНА ЗА ПРИНЦИПАМИ КВАЛІМЕТРІЇ

UDK 664.6(045)

Goriainova Iu. A., PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Simakova O. O., PhD in Engineering sciences, Associate Professor
Kislichenko V. M., a graduate of a master's degree
Balvas D. G., a graduate of a bachelor's degree
Homankova S. Yu., a graduate of a bachelor's degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kryvyi Rih, Ukraine), e-mail: Goryaynova@donnuet.edu.ua

EVALUATION OF THE QUALITY INDICATORS OF FUNCTIONAL PURPOSE BREAD WITH THE ADDITIONS OF KIWI, JERUSALEM, AND SLIZUNA ONION ACCORDING TO THE PRINCIPLES OF QUALIMETRY

Мета. Визначити показники якості (органолептичні та фізико-хімічні) хліба функціонального призначення «Смачний день» та «Збалансований ранок» з добавками пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна з урахуванням принципів кваліметрії.

Методи. При визначенні форми, поверхні, м'якушки, кольору, смаку та запаху розробленої продукції застосовували органолептичні методи (бальний метод). Основні фізико-хімічні показники (вологість, кислотність, пористість) якості готових виробів з добавками ківі, топінамбура та цибулі-слизуна визначали на основі ДСТУ 7045-2009 «Вироби хлібобулочні. Методи визначення фізико-хімічних показників». Використовували хімічні методи для визначення вологості, вмісту сухих речовин, кислотності. Пористість визначали за допомогою приладу Журавльова за стандартною методикою. Оцінку рівня якості продукції за органолептичними та фізико-хімічними показниками (порівняння з показниками якості базових зразків) проводили з використанням кваліметрії.

Результати. Розроблено ієрархічне «Дерево властивостей» хліба з добавками пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна, що включає органолептичні, фізико-хімічні властивості, показники харчової цінності та безпеки. Проведений розрахунок оцінки якості розроблених виробів за органолептичними та фізико-хімічними показниками за принципами кваліметрії. Доведено, що за органолептичними властивостями якість хліба «Смачний день»

(з додаванням дріжджів) та «Збалансований ранок» (без додавання дріжджів) збільшилася на 4% в порівнянні з контрольними зразками. Якість хліба «Смачний день» за фізико-хімічними показниками зросла на 7%, а хліба «Збалансований ранок» на 4% в порівнянні з відповідними контрольними зразками без добавок пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна. Для розрахунків комплексного показника якості хлібобулочних виробів з іншими добавками можна використовувати розроблене «Дерево властивостей».

Ключові слова: хліб, якість, кваліметрія, ківі, топінамбур, цибуля-слизун, фізико-хімічні, органолептичні властивості.

Постановка проблеми. Значення хлібу в нашому житті важко переоцінити. Хліб та різні види хлібобулочних виробів мають попит по всьому світу. Відмінність полягає лише у видах самого хліба, популярність яких змінюється залежно від країни чи регіону. Асортимент хлібобулочних виробів досить великий і постійно розширюється. Кожен українець щодня купує хліб чи хлібобулочні вироби. Саме тому виробники, науковці, постачальники сировини постійно працюють над питанням підвищення харчової цінності виробів з борошна, зниження калорійності, удосконалення технологій, введення інноваційних добавок, зменшення ціни тощо. Перспективним напрямком є введення різноманітних функціональних добавок для вирішення цієї комплексної задачі, в тому числі і рослинних. Виходячи з вищевикладеного, розробка новітніх технологій хлібобулочних виробів з борошна з використанням нетрадиційної рослинної сировини є актуальною і своєчасною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В Україні відомі наукові школи в сфері інноваційних технологій хлібобулочних виробів таких вчених, як Дробот В.І., Дорохович А.М., Калакура М.І., Лисюк Г.М., Самохвалова О.В. та інші. Представники цих наукових шкіл тісно співпрацюють з виробниками, знаходяться в постійному пошуку нових добавок для покращення якості хлібобулочних виробів, вивчають вплив добавок на основні фізико-хімічні, органолептичні, структурно-механічні, мікробіологічні властивості. Для підтвердження позитивного впливу добавок на якісні характеристики будь-яких виробів, в тому числі з борошна, все частіше останнім часом застосовуються кваліметричні розрахунки.

Так, наукові дослідження кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів НУХТ присвячені використанню у хлібопеченні нетрадиційної сировини: молочних продуктів, овочевих порошків, продуктів перероблення олійних культур, цільозернового борошна пшениці та борошна круп'яних культур, бобових культур і білкових ізолятів, борошна тритікале, нетрадиційної цукровмісної сировини та цукрозаїміників, насіння льону, кукурудзяного борошна, борошна сорго, пектиновмісних порошків; удосконаленню технологій безглютенових хлібобулочних виробів і спеціального призначення [1-3].

Вчені Державного біотехнологічного університету (м. Харків) ведуть, серед інших, дослідження впливу шроту із зародків пшениці та вівса, плодів шипшини на формування якості житнього пшеничного тіста та хліба [4].

Ще один їх напрямок – вивчення впливу макухи із зародків кукурудзи на процеси дозрівання пшеничного тіста, якість і харчову цінність хліба [5]. Цими ж авторами в роботі [6] узагальнено результати цих багаторічних досліджень, а також проведена кваліметрична оцінка якості хліба з дослідними добавками.

Авторами роботи [7] розкрито спектр питань, які присвячені новітнім ресторанним технологіям харчової продукції функціонального призначення, проаналізовано фактичний стан харчування і розроблено рекомендації щодо харчування різних верств населення України, досліджено методологічні аспекти конструювання харчових продуктів функціонального призначення, розраховані комплексні показники якості для багатьох видів харчової продукції функціонального призначення, в тому числі для виробів з борошна.

Проблемами розширення асортименту виробів з борошна за рахунок використання рослинних добавок займаються вчені ДонНУЕТ [8-12]. Ними доведена доцільність

використання амаранту багряного, чорноплідної та звичайної горобини, шовковиці та інших добавок до хлібобулочних виробів.

Кваліметричні розрахунки для визначення комплексних показників застосовуються з кожним роком все більше і більше для багатьох видів харчової продукції [13, 14, 15], серед якої і вироби з борошна.

Отже, визначення комплексного показника якості хліба, що збагачений пюре з ківі, топінамбура та цибулі-слизуна, з урахуванням принципів кваліметрії є актуальним завданням.

Мета статті – визначити деякі показники якості хліба функціонального призначення з добавками ківі, топінамбура та цибулі-слизуна з урахуванням принципів кваліметрії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Раніше нами було досліджено хімічний склад ківі, топінамбура та цибулі-слизуна як функціональних добавок до різних видів хліба. Також встановлено оптимальну концентрацію пюре з ківі, топінамбура та цибулі-слизуна, розроблені технологічні картки, схеми виробництва двох видів хліба – «Смачний день» з додаванням пресованих хлібопекарських дріжджів та «Збалансований ранок», який приготовлений на кефірі. Нами визначені органолептичні та основні фізико-хімічні показники якості розроблених виробів.

На даному етапі дослідження ми розрахували кількісні показники якості хліба «Смачний день» та «Збалансований ранок» за окремими групами властивостей – органолептичними та фізико-хімічними.

Для комплексної оцінки якості хліба, який збагачений пюре з ківі, топінамбура та цибулі-слизуна, нами було побудовано ієрархічне «дерево властивостей» (рис. 1).

	Групові показники якості (1 рівень)			Одиничні показники якості (2 рівень)	
ЯКІСТЬ ХЛІБА. КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК (P_0)	PA	Груповий показник органолептичних властивостей		PA_1	Форма
				PA_2	Поверхня
				PA_3	М'якушка
				PA_4	Колір
				PA_5	Смак
				PA_6	Запах
	PB	Груповий показник фізико- хімічних властивостей		PB_1	Вологість м'якушки
				PB_2	Кислотність м'якушки
				PB_3	Пористість м'якушки
	PC	Груповий показник харчової цінності	$PC.1.$ показник енергетичної цінності	$PC_{1.1}$	Білки
				$PC_{1.2}$	Жири
				$PC_{1.3}$	Вуглеводи
			$PC.2.$ показник біологічної цінності	$PC_{2.1}$	Макро- та мікроелементи
				$PC_{2.2}$	Вітаміни
				$PC_{2.3}$	Харчові волокна
	PD	Груповий показник безпеки		PD_1	Мезофільні аеробні та факультативно-анаеробні мікроорганізми (МАФМ)
PD_2				Бактерії групи кишкових паличок (БГКП)	
PD_3				Плісеневі гриби	
PD_4				Дріжджі	

Рисунок 1 – Ієрархічне «Дерево властивостей» хліба з добавками пюре з ківі, топінамбура, цибулі-слизуна

Якість хліба на першому рівні визначається показниками органолептичних (PA), фізико-хімічних властивостей (PB), показниками харчової цінності (PC) та мікробіологічної чистоти (PD).

Другий рівень представлено показниками якості кожної окремої групи властивостей (PA_1, PA_2, PA_3 тощо), а їх абсолютні значення одержані відповідними методами дослідження.

До органолептичних властивостей PA відносяться форма та поверхня, м'якушка, колір, смак та запах. Фізико-хімічні властивості PB представлені вологістю, кислотністю та пористістю м'якушки. У групу «харчова цінність» PC включені показники енергетичної цінності PC_1 (вміст білків, жирів, вуглеводів) та показники біологічної цінності PC_2 (макро- та мікроелементи, вітаміни, харчові волокна). Показник безпеки PD визначають МАФМ, БГКП, плісєневі гриби та дріжджі.

Визначення показників якості дослідних та контрольних зразків хліба здійснювали у наступному порядку: вибір групових та одиничних властивостей для характеристики виробів, побудова ієрархічного «дерева властивостей», визначення коефіцієнтів вагомості кожного з одиничних і групових показників якості, вибір значень базових показників якості, розрахунок відносних показників якості одиничних властивостей, визначення групових показників якості.

Отримані абсолютні експериментальні дані з визначення органолептичних та основних фізико-хімічних показників та відносні значення цих показників наведено відповідно в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 - Абсолютні значення показників якості хліба

Найменування показника P_i		Контроль 1 (з додаванням дріжджів)	«Смачний день» (дріжджовий хліб)	Контроль 2 (без додавання дріжджів)	«Збалансований ранок» (бездріжджовий хліб)	Коефіцієнти вагомості
Органолептичні	1.1. Форма, бал	5,0	5,0	5,0	5,0	0,15
	1.2. Поверхня, бал	5,0	5,0	5,0	5,0	0,15
	1.3. Колір, бал	5,0	5,0	5,0	5,0	0,18
	1.4. М'якушка, бал	5,0	5,0	5,0	5,0	0,15
	1.5. Смак, бал	4,5	5,0	4,5	5,0	0,20
	1.6. Запах, бал	4,5	5,0	4,5	5,0	0,17
Фізико-хімічні	2.1. Вологість м'якушки, %	38,6	41,2	46,2	49,1	30
	2.2. Кислотність м'якушки, град.	2,7	2,9	3,0	3,3	0,30
	2.3. Пористість м'якушки, %	64	74	52	59	0,40

Для переведення абсолютних значень показників якості (P_i) у відносні безрозмірні величини (K_i) використовували диференційований метод, в основі якого лежить розрахунок відношення абсолютних значень одиничних показників якості продукції до їх базових значень. За базові значення для групи органолептичних показників та фізико-хімічних показників нами було обрано показники форми, поверхні, кольору, м'якушки, смаку, запаху, вологості, кислотності та пористості для контрольних зразків без додавання пюре з ківі, топінамбура, цибулі-слизуна.

Між абсолютним значенням показника якості P_i та його оцінкою K_i використовується лінійна залежність, яка частіше за все використовується і під час розрахунку відносних показників властивостей:

$$K_i = \left(\frac{P_i}{P_{\text{баз}}} \right)^z \quad (1)$$

де P_i – значення i -го показника якості об'єкту дослідження;

$P_{\text{баз}}$ – значення показника якості контрольного зразка, що виготовлений за традиційною технологією;

z – показник, що залежить від зв'язку між зміною значення показника і якості продукції ($z = +1$ у випадку прямого зв'язку – з підвищенням значення показника рівень якості збільшується, та $z = -1$ у випадку зворотного зв'язку – з підвищенням значення показника рівень якості зменшується).

Для усіх одиничних показників якості, за винятком кислотності, приймається значення $z = +1$, для кислотності $z = -1$.

Таблиця 2 - Відносні значення показників якості хліба

Найменування показника K_i		Контроль 1 (з додаванням дріжджів)	«Смачний день» (дріжджовий хліб)	Контроль 2 (без додавання дріжджів)	«Збалансований ранок» (бездріжджовий хліб)	Коефіцієнти вагомості
Органолептичні	1.1. Форма, бал	1,0	1,0	1,0	1,0	0,15
	1.2. Поверхня, бал	1,0	1,0	1,0	1,0	0,15
	1.3. Колір, бал	1,0	1,0	1,0	1,0	0,18
	1.4. М'якушка, бал	1,0	1,0	1,0	1,0	0,15
	1.5. Смак, бал	1,0	1,1	1,0	1,1	0,20
	1.6. Запах, бал	1,0	1,1	1,0	1,1	0,17
Фізико-хімічні	2.1. Вологість м'якушки, %	1,0	1,07	1,0	1,06	0,30
	2.2. Кислотність м'якушки, град.	1,0	0,94	1,0	0,91	0,30
	2.3. Пористість м'якушки, %	1,0	1,16	1,0	1,13	0,40

Коефіцієнти вагомості органолептичних та фізико-хімічних показників були розраховані нами і наведені також в таблицях 1, 2.

Оцінку органолептичних та фізико-хімічних властивостей розраховували як суму добутків відносних значень показників на їх коефіцієнт вагомості.

Відповідні дані щодо оцінки якості хліба за органолептичними та фізико-хімічними показниками для зразків хліба «Смачний день» та «Збалансований ранок», що збагачені пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Оцінка якості хліба за органолептичними та фізико-хімічними властивостями

Зразок хліба	Показники якості за групами властивостей	
	Органолептичні	Фізико-хімічні
Контроль 1	1,0	1,0
«Смачний день»	1,04	1,07
Контроль 2	1,0	1,0
«Збалансований сніданок»	1,04	1,04

Отримані практичні результати свідчать про те, що за органолептичними властивостями якість хліба «Смачний день» (з додаванням дріжджів) та «Збалансований ранок» (без додавання дріжджів) підвищилася на 4% в порівнянні з відповідними контрольними зразками за рахунок покращення смаку та запаху розроблених виробів.

Також розрахунки доводять, що за фізико-хімічними показниками якість хліба «Смачний день» збільшилася на 7%, а хліба «Збалансований ранок» на 4% в порівнянні з контрольними зразками без добавок пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна за рахунок покращення пористості м'якушки та її вологості.

Наступним етапом наших досліджень буде розрахунок якості розроблених виробів за показниками харчової цінності та безпеки, а також визначення комплексного показника якості хліба «Смачний день» та «Збалансований ранок».

Висновки. Розроблено ієрархічне «Дерево властивостей» хліба «Смачний день» та «Збалансований ранок» з добавками пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна, що включає органолептичні, фізико-хімічні властивості, показники харчової цінності та безпеки.

Проведений розрахунок оцінки якості розроблених виробів за органолептичними та фізико-хімічними показниками за принципами кваліметрії. Доведено, що за органолептичними властивостями якість хліба «Смачний день» (з додаванням дріжджів) та «Збалансований ранок» (без додавання дріжджів) збільшилася на 4% в порівнянні з контрольними зразками.

Якість хліба «Смачний день» за фізико-хімічними показниками зросла на 7%, а хліба «Збалансований ранок» на 4% в порівнянні з відповідними контрольними зразками без добавок пюре ківі, топінамбура та цибулі-слизуна.

Список літератури

1. Дробот В. І., Приходько Ю. С., Бережна Г. О. Борошно сорго у технології безглютенового хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. Т. 25, № 1. С. 208-214. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_1_21.
2. Дробот В. І., Сильчук Т. А. Використання закваски спонтанного бродіння при виробництві житньо-пшеничного хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2016. Т. 22, № 1. С. 180-184. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2016_22_1_22.
3. Хліб житній заварний збагачений: пат. 120603 Україна: МПК А21D 2/36(2006.1) А21D 8/02 (2006.1). № u201705063; заявл. 25.05.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. N 21/2017. 3 с.
4. Svitlana Oliinyk, Olga Samokhvalova, Nadeжда Lapitska, Zinoviya Kucheruk. Studying the Influence of Meats From Wheat and Oat Germs, and Rose Hips, on the Formation of Quality of Rye Wheat Dough and Bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. 1 (11 (103)), 59-65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.18794>.
5. Influence of maize germ oilcake on processes of wheat dough ripening and bread quality and nutritional value / G. Stepankova, S. Oliinyk, V. Mykhaylov, O. Neklesa. *Ukrainian food journal*. 2017. Vol. 6, Issue 1. С. 28-37. http://nbuv.gov.ua/UJRN/UFJ_2017_6_1_5.

6. Кравченко О. І., Олійник С. Г., Самохвалова О. В., Степанькова Г. В. Технологія хліба пшеничного з продуктами переробки зародків вівса та кукурудзи: монографія. Х: ХДУХТ, 2017. 123с.
7. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія. Частина 2 / За ред. О. І. Черевка, М.І. Пересічного. 4-те вид., переробл. та допов. Х.: Харківський. держ. унів. харчув. і торгівлі, 2017. 592 с.
8. Simakova O., Korenets Yu., Yudina T., Nazarenko I., Goriainova Iu. Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2. Is. 11 (92). Pp. 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.
9. Горайнова Ю. А., Сімакова О. О., Кучма А. Ю., Мороз В. О. Технологія виробів із пшеничного борошна лікувально-профілактичного призначення із використанням шовковиці. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. Вип. 2 (41). С. 12–18.
10. Сімакова О. О., Никифоров Р.П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ. 2018. 146 с.
11. Korenets Yu., Goriainova Yu., Nykyforov R., Nazarenko I., Simakova O. Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production*. 2017. Vol. 2. No. 10 (86). Pp. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98409>.
12. Горайнова Ю. А. Розробка технології борошняних виробів з добавками чорноплідної горобини. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2016. Вип. 2. С. 22–30.
13. Кузьмін О.В., Шулак М. Я., Романченко Н. М. Методика визначення комплексного показника якості дріжджів. *Інтернаука*. 2018. № 3(43). Т. 1. С. 68-73.
14. Гніцевич В., Слащева А. Технологія та оцінка якості низьколактозних десертів. *Товари і ринки*. 2023. № 4 (48). С. 69-80. [https://doi.org/10.31617/2.2023\(48\)06](https://doi.org/10.31617/2.2023(48)06).
15. Мінорова А. В., Крушельницька Н. Л., Рудакова Т. В., Моїсєєва Л. О., Наріжний С. А. Оцінка якості сухих молочних багатокомпонентних сумішей на принципах кваліметрії. *Food resources*. 202. Vol. 8. №15. С. 139–150. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-15>.
16. Степанькова Г. В., Олійник С. Г., Шидакова-Каменюка О. Г. Кваліметрична оцінка якості хліба пшеничного з використанням шроту зародків вівса та макухи зародків кукурудзи. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2019. Т. 25. № 1. С. 233-242. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_1_24.

References

1. Drobot, V., Prykhodko, Yu., Berezhna, H. (2019). *Boroshno sorho u tekhnolohii bezghliutenovoho khliba* [Sorghum flour in gluten-free bread technology], *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii* [Scientific papers of the National University of Food Technologies], 25, 1, 208-214. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_1_21.
2. Drobot, V., Sylchuk, T. (2016). *Vykorystannia zakvasky spontannoho brodinnia pry vyrobnytstvi zhytno-pshenychnoho khliba* [The use of spontaneous fermentation starter in the production of rye-wheat bread], *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii* [Scientific papers of the National University of Food Technologies], 22, 1, 180-184. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2016_22_1_22.
3. *Khlib zhytnii zavarnyi zbahachenyi* [Rye custard bread enriched]: pat. 120603 Ukraine: МПК А21D 2/36(2006.1) А21D 8/02 (2006.1). № u201705063; declared 25.05.2017; published 10.11.2017, bull. N 21/2017. 3 p.
4. Svitlana Oliinyk, Olga Samokhvalova, Nadegda Lapitska, Zinoviya Kucheruk (2020). Studying the Influence of Meats From Wheat and Oat Germs, and Rose Hips, on the Formation of Quality of Rye Wheat Dough and Bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (11 (103)), 59-65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.18794>.

5. Stepankova, G., Oliinyk, S., Mykhaylov, V., Neklesa O. (2017). Influence of maize germ oilcake on processes of wheat dough ripening and bread quality and nutritional value, *Ukrainian food journal*, 6, 1, 28-37. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ufj_2017_6_1_5.
6. Kravchenko, O., Oliinyk, S., Samokhvalova, O., Stepankova, H. (2017). *Tekhnolohiia khliba pshenychnoho z produktamy pererobky zarodkiv vivsa ta kukurudzy: monohrafiia* [Technology of wheat bread with oat and corn germ processing products: monograph]. Kh: KhDUKhT [X: XDUHT]. 123 p.
7. *Innovatsiini tekhnolohii kharchovoi produktsii funktsionalnoho pryznachennia: monohrafiia* [Innovative technologies of functional food products: monograph]. Part 2 / Za red. O. I. Cherevka, M.I. Peresichnoho. Kh: KhDUKhT [X: XDUHT]. 2017. 592 p.
8. Simakova, O., Korenets, Yu., Yudina, T., Nazarenko, I., Goriainova, Iu. (2018). Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 11 (92), 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>
9. Goryaynova, Yu. A., Simakova, O. O., Kuchma, A. Yu., Moroz, V. O. (2020). *Tehnologiya virobiv iz pshenichnogo boroshna likuvalno-profilaktichnogo pryznachennya iz vikoristannyam shovkovitsi* [Technology of products from wheat flour of medical and preventive appointment with use of mulberry]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Food Equipment and Technology], 2 (41), 12–18.
10. Simakova, O. O., Nykyforov, R. P. (2018). *Rozrobka novitnikh tekhnolohii vyrobiv z boroshna s zadanyimi vlastyvostyamy: monografiya* [Development of the newest technologies of products from flour with the set properties: monograph]. Kryvyi Rih: DonNUET [Kryvyi Rih: DonNUET]. 146 p.
11. Korenets, Y., Goriainova, I., Nykyforov, R., Nazarenko, I., Simakova, O. (2017). Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 10 (86), 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98409>.
12. Goryaynova, Yu. A. (2016). *Rozrobka tehnologiyi boroshnyanih virobiv z dobavkami chornoplidnoyi gorobini* [Development of technology of flour products with chokeberry additives], *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Food Equipment and Technology], 2, 22–30.
13. Kuzmin, O., Shulak, M., Romanchenko, N. (2018). *Metodyka vyznachennia kompleksnoho pokaznyka yakosti drizhdzhiv* [Method for determining the complex quality indicator of yeasts], *Internauka* [Interscience], 3 (43), 1, 68-73.
14. Hnitsevykh, V., Slashcheva, A. (2023). *Tekhnolohiia ta otsinka yakosti nyzkolaktoznykh desertiv* [Technology and quality assessment of low-lactose desserts], *Tovary i rynky* [Goods and Markets], 4 (48), 69-80. [https://doi.org/10.31617/2.2023\(48\)06](https://doi.org/10.31617/2.2023(48)06).
15. Minorova, A., Krushelnytska, N., Rudakova, T., Moiseieva, L., Narizhnyi, S. (2020). *Otsinka yakosti sukhykh molochnykh bahatokomponentnykh sumishei na pryntsypakh kvalimetrii*. [Quality assessment of dry multicomponent milk mixtures based on the principles of qualimetry]. *Prodovolchi resursy* [Food resources], 8, 15, 139–150. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-15>
16. Stepankova, G. V., Oliinyk, S. G., Shydakova-Kameniuka, E. G. (2019). *Kvalimetrychna otsinka yakosti khliba pshenychnoho z vykorystanniam shrotu zarodkiv vivsa ta makukhy zarodkiv kukurudzy* [Qualimetric evaluation of the quality of wheat bread with the addition of swirling of oat germ and oilcake of maize germ], *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii* [Scientific works of the National University of Food Technologies], 25 (1), 232-242. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_1_24.

Purpose. To determine the quality indicators (organoleptic and physico-chemical) of functional bread "Tasty Day" and "Balanced Morning" with the addition of kiwi puree, Jerusalem artichoke and spring onion, taking into account the principles of quality measurement.

Methods. When determining the shape, surface, crumb, color, taste and smell of the developed products, organoleptic methods (scoring method) were used. The main physicochemical indicators (moisture content, acidity, porosity) of the quality of finished products with additives of kiwi, Jerusalem artichoke and scallion were determined on the basis of DSTU 7045-2009 "Bakeries. Methods for determining physicochemical indicators". Chemical methods were used to determine moisture content, dry matter content, acidity. Porosity was determined using the Zhuravlev device according to the standard method. The assessment of the quality level of products by organoleptic and physicochemical indicators (comparison with the quality indicators of the base samples) was carried out using qualimetry.

Results. When determining the shape, surface, crumb, color, taste and smell of the developed products, organoleptic methods (scoring method) were used. The main physicochemical indicators (moisture content, acidity, porosity) of the quality of finished products with additives of kiwi, Jerusalem artichoke and scallion were determined on the basis of DSTU 7045-2009 "Bakeries. Methods for determining physicochemical indicators". Chemical methods were used to determine moisture content, dry matter content, acidity. Porosity was determined using the Zhuravlev device according to the standard method. The assessment of the quality level of products by organoleptic and physicochemical indicators (comparison with the quality indicators of the base samples) was carried out using qualimetry.

Key words: bread, quality, qualimetry, kiwi, Jerusalem artichoke, slizun onion, physicochemical, organoleptic properties.

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент
Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент
Боднарук О. А., асистент
Кібітова О. А., здобувач СВО магістра
Соловійова К. С., здобувач СВО бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: simakova@donnuet.edu.ua

КИСЛОТНО-ЛУЖНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІОФЛАВОНІДІВ ГОРОБИНИ ЗВИЧАЙНОЇ

UDC 664.8:543.42

*Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*
*Goraiainova Iu. A., PhD in Engineering
sciences, Associate Professor*
Bodnaruk O. A., assistant
Kibitova O. A., a graduate of a master's degree
*Soloviova K. S., a graduate of a bachelor
degree*

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: simakova@donnuet.edu.ua

ACID-ALKALINE TRANSFORMATIONS OF BIOFLAVONOIDS THE MOUNTAIN ASH

Мета. Дослідження кислотно-лужних перетворень біофлавоноїдів горобини звичайної.

Методи. Хімічний аналіз на загальний вміст фенольних речовин у плодах горобини звичайної проведений об'ємним методом, в основі якого лежить принцип окислення фенолів перманганатом калію в присутності індігокарміну. Наявність речовин фенольного характеру у складі плодів горобини проводилося методом ІЧ-спектроскопії.

Результати. Проведений хімічний аналіз на загальний вміст фенольних речовин у плодах горобини звичайної показав вміст фенольних речовин у субстраті 1950 мг / 100 г, що виводить ці плоди на одне з перших місць за вмістом Р-вітамінних речовин. Вони поступаються лише горобині чорноплідній, у якій кількість Р-вітамінних сполук іноді досягає 5000 мг / 100 г. Детально розглянуто поведінку суми фенольних речовин-біофлавоноїдів плодів горобини звичайної під час дії на неї кислих та основних реагентів. Для цього використаний метод спектрофотометрії. В спектрах водних екстрактів плодів горобини залежно від рН-середовища спостерігаються зміни, які дають можливість судити про структуру біофлавоноїдів субстрату. Препарати з плодів горобини звичайної виглядають перспективними з точки зору використання їх для створення функціональних харчових продуктів. З іншого боку, фенольні похідні є одними з найсильніших інгібіторів вільних радикалів, тобто антиоксидантами. Наявність великої кількості фенольних гідроксилів у молекулах біофлавоноїдів робить їх перспективними в якості природних антиоксидантів. Додатки таких антиоксидантів до харчових продуктів значно поліпшить їх функціональні властивості, надасть таким продуктам лікувально-профілактичного напрямку.

Ключові слова: горобина звичайна, фенольні речовини, флавоноїди, біофлавоноїди, флавони, флавоноли, антиоксиданти, функціональні харчові продукти, спектрофотометрія.

Постановка проблеми. Горобина звичайна – це улюблена лікарська рослина у народній медицині [1]. Її плоди використовують як сечогінне, кровоприпиняюче, послаблювальне. Горобину як лікувальний засіб широко використовували в офіційній та народній медицині країн Заходу. В Польщі плоди горобини використовували при захворюваннях нирок, сечового та жовчного міхурів, цукровому діабеті, в Угорщині – при дизентерії, в Норвегії – як засіб, що допомагає заживленню ран. Горобина звичайна має багатий хімічний склад, який досить добре вивчений. Основну увагу привертає кількість у плодах вітаміну С та каротиноїдів, яка перевищує вміст цих біологічно активних речовин у багатьох овочах та фруктах. За вмістом вітаміну С рослина успішно конкурує з смородиною, помідорами, яблуками, а за вмістом каротиноїдів – з морквою та кращими гатунками гарбуза [2]. Проте в літературі немає відомостей про наявність у плодах горобини деяких речовин, які зараз привертають особливу увагу своєю біологічною активністю, завдяки яким сировина може вважатися дуже цінною при виготовленні функціональних харчових продуктів. Це фенольні речовини, їх дуже багато в кожній рослині – в кожній клітині тіла, в корінні, листі, в плодах та корі. З рослин вивільнено кілька тисяч фенолів і звичайно, такі розповсюджені речовини повинні виконувати якісь важливі, життєво необхідні функції. Одною з таких функцій є їх висока капілярозміцнююча дія, у зв'язку з чим рослинні фенольні речовини мають здатність припиняти геморагічні кровотечі, поліпшувати тонус судин, у тому числі й коронарних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням фенольних речовин у рослинах, завдяки яким сировина може вважатися дуже цінною при виготовленні функціональних харчових продуктів, є актуальним питанням, яким займався ряд вітчизняних та закордонних вчених [3–6].

Найбільш розповсюджена група фенольних речовин у рослинах – це так звані флавоноїди або біофлавоноїди. Особливістю їх структури є наявність двох ароматичних ядер, з'єднаних між собою вуглесь-вуглецевим містком. Головне ароматичне ядро – це молекула кисеньвміщуючого гетероциклу пірану. Обидві частини молекули у якості бічних замісників вміщують чисельні гідроксильні групи, що й дає можливість віднести їх до класу поліфенолів [7]. Біофлавоноїди існують у кількох формах, що відрізняються одна від одної ступенем окисленості і можуть переходити одна в одну під дією окислювальних та відновних реагентів. Взаємні переходи основних структур біофлавоноїдів відображені на рис. 1.

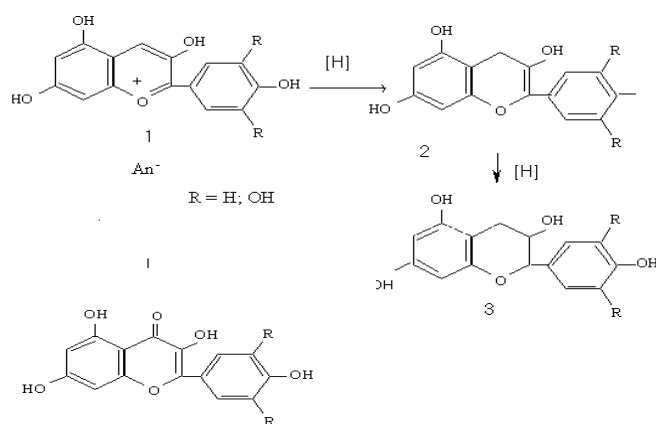


Рисунок 1 – Основні групи біофлавоноїдів рослин [7]

Мета статті – дослідження кислотно-лужних перетворень біофлавоноїдів горобини звичайної.

Виклад основного матеріалу досліджень. Проведений хімічний аналіз на загальний вміст фенольних речовин у плодах горобини звичайної показав вміст фенольних речовин у субстраті 1950 мг / 100 г, що виводить ці плоди на одне з перших місць. За вмістом Р-вітамінних речовин вони поступаються лише горобині чорноплідній, у якій кількість Р-вітамінних сполук іноді досягає 5000 мг / 100 г. Проте ця цифра дає інформацію лише про загальний вміст фенольних речовин у плодах горобини звичайної і нічого не говорить про їх структуру. З метою одержання даних про структуру біофлавоноїдів горобини звичайної нами були проведені спектрофотометричні дослідження водних витягів плодів при різних значеннях рН-середовища. Наявність у структурі біофлавоноїдів великої кількості сопряжених подвійних зв'язків у сукупності із гідроксильними групами з рухомим атомом водню робить їх молекули дуже чутливими до змін рН-середовища. На рис. 2 наведені спектри водного витягу плодів горобини звичайної при різних значеннях рН.

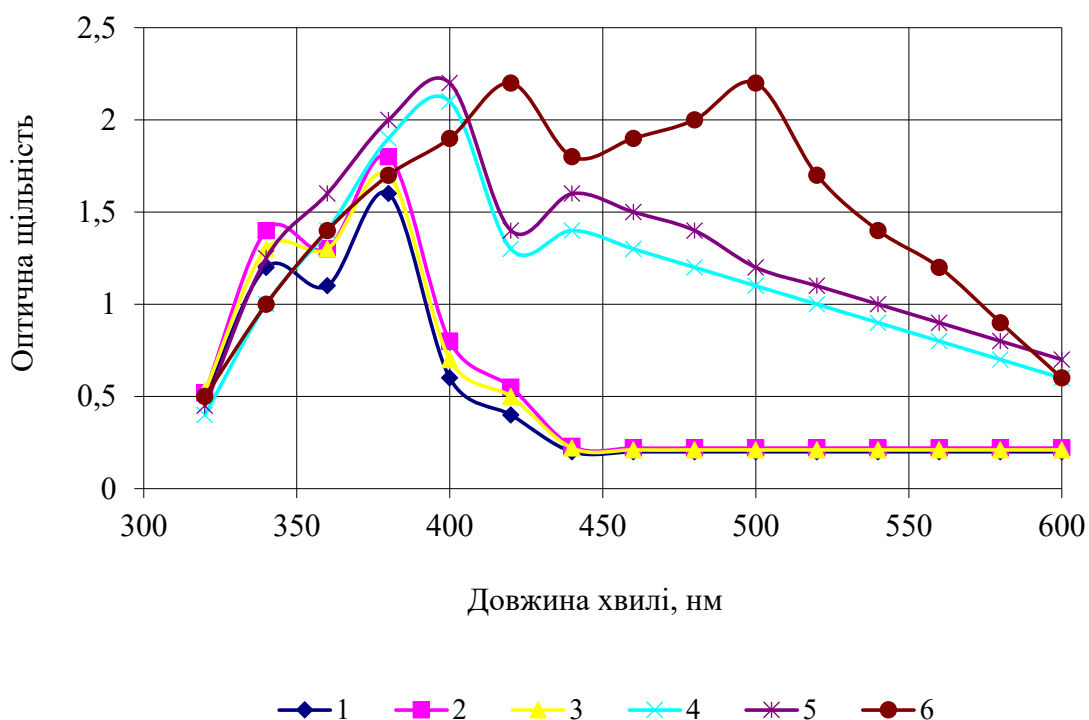


Рисунок 2 – Спектри водного витягу плодів горобини при різних значеннях рН: 1 – рН=2,9; 2 – рН=3,4; 3 – рН=4,2; 4 – рН=5,4; 5 – рН=7,4; 6 – рН=11,4

З наведених спектрів видно, що спектри біофлавоноїдів горобини звичайної мають в своєму складі два чітких максимуми поглинання, як це і характерно для подібних молекул [8, 9]. Ці два максимуми з ростом рН-середовища піддаються досить значному батохромному зміщенню – при кислих значеннях рН максимуми поглинання розміщуються при 340 та 380 нм, по мірі наближення до нейтрального значення максимуми зміщуються в область більш довгих хвиль – 400 та 480 нм, а в лужному середовищі вони набувають значень 420 та 500 нм. Такий великий батохромний зсув можливий тільки за умови довгого ланцюгу сопряжених зв'язків у досліджуваній молекулі, який реалізується лише для структури 1 (рис.1), тобто для молекули антоціанідінів. В цій молекулі можливі взаємні переходи при змінах рН, які відображені на рис. 3.

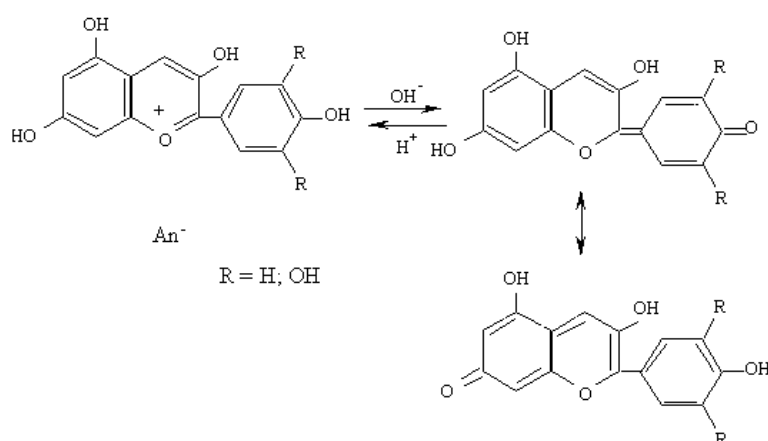


Рисунок 3 – Структурні перетворення в молекулі антоціанідинів в лужному середовищі [5]

Внаслідок відщеплення протону від одного з фенольних гідроксилів гідроксил-аніоном луку утворюється структура ангідрооснови, яка існує у двох резонансних формах, що обумовлює її стійкість. Молекули ангідрооснов звичайно поглинають у більш довгохвильовій області спектру порівняно з відповідними солеподібними структурами, до яких відносні антоціанідини. Це помітно навіть візуально – при дії лужних реагентів водний витяг з плодів горобини звичайної набуває більш глибокого кольору. Це підтверджує наявність антоціанідинів у складі біофлавоноїдів горобини звичайної. Проте відомо, що антоціанідини відрізняються від інших біофлавоноїдів надзвичайно яскравим забарвленням і відповідають за різноманітну гаму кольорів квітів та плодів, плоди ж горобини звичайної порівняно із іншими фруктами та ягодами не дуже забарвлені, водний же екстракт з них і зовсім не має яскравого кольору. Це свідчить на користь того, що антоціанідини не є головними за вмістом біофлавоноїдами горобини, хоч завдяки ним ягоди горобини мають червоний колір.

Треба розглянути можливість існування у складі біофлавоноїдів горобини відновлених та окислених форм біофлавоноїдів. Відновлені форми їх – це лейкоантоціанідини (2) та катехіни (3). Щоб довести наявності цих структур або відсутності їх у плодах горобини, нами були проведені деякі хімічні дослідження. Відомо, що лейкоантоціанідини при кип'ятінні у розчинах мінеральних кислот, зокрема, соляної кислоти, перетворюються на антоціанідини і реакційне середовище при цьому повинно набувати більш яскравого забарвлення. При кип'ятінні ж водного екстракту плодів з 10 %-вим розчином соляної кислоти ніяких змін кольору не відбувалося, навпаки, колір реакційної суміші ставав більш блідим, що співпадає із результатами спектрофотометричних досліджень. Цей хімічний тест дозволяє з великою долею вірогідності викреслити лейкоантоціанідини з комплексу біофлавоноїдів горобини.

Наступна відновлена структура – це катехіни. Вони є найбільш відновленою формою серед біофлавоноїдів і тому виступають як сильні відновлювальні агенти, тобто при реакції з деяким окислювачем вони будуть його відновлювати. Одним з найбільш відомих м'яких окислювачів, які широко використовуються при дослідженні рослинних об'єктів, є метиленова синь, яка при відновленні перетворюється на лейкоформу та знебарвлюється. При дослідженні спектрофотометричним способом реакційної суміші водного екстракту плодів горобини та метиленової сині нами не було помічено ніякого знебарвлення середовища – оптична щільність розчину не зменшувалась, а навпаки, в деякій мірі зростала. Це дає можливість стверджувати, що у складі комплексу біофлавоноїдів горобини звичайної катехіни відсутні. Зростання ж оптичної щільності реакційної суміші дозволяє передбачити наявність серед біофлавоноїдів горобини окислених форм – флавонов та флавонолів (4). На це вказують і дані ІЧ-спектрів подрібнених сухих плодів горобини – в ІЧ-спектрах в області 1712 cm^{-1} присутня чітка смуга дуже високої інтенсивності, яка повністю відповідає валентним коливанням

карбонільних груп ($>C=O$) флавонового кільця. І так, усі проведені експериментальні дослідження дозволяють стверджувати, що у складі біофлавоноїдів плодів горобини звичайної основне місце посягають їх окислені форми – антоціанідіни та флаволи або флавоноли. Це дозволяє очікувати від плодів різноманітних функціональних властивостей, наприклад, вони повинні дуже активно взаємодіяти з катіонами металів, особливо перехідних, за рахунок хелатування їх багаточисленними реакційноздібними групами субстрату. Наявність карбонільних та гідроксильних груп у флавонах, а також позитивно зарядженого гетероциклічного піранового кільця в антоціанідінах робить процес утворення комплексних сполук з металами надзвичайно легким. Це відкриває широкі перспективи для детоксикації організму від токсичних важких металів, що надходять до нього з водою, повітрям, їжею в умовах високого антропогенного навантаження [10].

Висновки. Препарати з плодів горобини звичайної виглядають перспективними з точки зору використання їх для створення функціональних харчових продуктів. З іншого боку, фенольні похідні є одними з найсильніших інгібіторів вільних радикалів, тобто антиоксидантами. Наявність великої кількості фенольних гідроксилів у молекулах біофлавоноїдів робить їх перспективними в якості природних антиоксидантів. Добавки таких антиоксидантів до харчових продуктів значно поліпшать їх функціональні властивості, нададуть таким продуктам лікувально-профілактичного напрямку.

Список літератури

1. Активация растительных биологически активных веществ физическими методами : монографія / Павлюк Р. Ю. та ін. Харків, 2010. 157 с.
2. Мазаракі А. А., Пересічний М. І., Кравченко М. Ф., Карпенко П. О., Пересічна С. М. та ін. Технологія продуктів харчування функціонального призначення: монографія / за ред. М. І. Пересічного. 2-ге вид., переробл. і доп. К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. 116 с.
3. Simakova O. O., Nykyforov R. P., Goriainova Iu. A., Fillipova O. Iu., Roman V. P. Perspectives of using the mountain ash (*sorbus aucuparia*) in the food production. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2024. Вип. 1 (48). С. 5–12. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2024-48-1-5-12>.
4. Levenspiel O. Chemical reaction engineering. New York: USA. 2016. 450 p.
5. Jing Peng, Juming Tang. Thermal pasteurization of vegetables: critical. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. Vol. 10. P. 430–440.
6. Simakova O., Korenets Yu., Yudina T., Nazarenko I., Goriainova Iu. Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough. *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*. 2018. Vol. 2, №11 (92). P. 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.
7. Сімакова О. О., Горайнова Ю. А., Пусікова О. А., Василевська А. О. Дослідження можливості використання добавок амаранту багряного в технології хлібобулочних виробів. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2022. Вип. 1 (44) С. 14–20.
8. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ. 2018. 146 с.
9. Mykhaylov V., Samokhvalova O., Kucheruk Z., Kasabova K., Simakova O., Goriainova Iu., Rogovaya A., Choni I. Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products. *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*. 2019. Vol. 6, № 11 (102). P. 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184464>.
10. Корзун В. Н., Тихоненко Ю. С. Функціональні продукти і їх роль у харчуванні людини. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2010. Вип. 38(2). С. 173–178.

References

1. Pavliuk R. Yu. (2010). *Aktyvatsiya roslynnykh biolohichno aktyvnykh rehovyn fizychnymy metodamy* [Activation of plant biologically active substances by physical methods] : monohrafiya / R. Yu. Pavliuk (Ed.). Kharkiv [Kharkiv], 157.
2. Mazaraki, A. A., Peresichnyi, M. I., Kravchenko, M. F., Karpenko, P. O., Peresichna, S. M. (2012). Tekhnolohiia produktiv kharchuvannia funktsionalnoho pryznachennia. 2-he vudannya. [Monohrafiia]. Kyiv: KNTU, 166.
3. Simakova O. O., Nykyforov R. P., Goriainova Iu. A., Fillipova O. Iu., Roman V. P. (2024). Perspectives of using the mountain ash (*sorbus aucuparia*) in the food production. *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies]. Kryvyy Rih : DonNUET [Kryvyy Rih : DonNUET], No. 1 (48), 5–12. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2024-48-1-5-12>.
4. Levenspiel, O. (2016). *Inzheneriya khimichnykh reaktsiy* [Chemical reaction engineering]. New York: USA. 450 p.
5. Jing Peng, Juming Tang. (2015). Thermal pasteurization of vegetables: critical. *Critical reviews in food science and nutrition*, 10, 430–440.
6. Simakova, O., Korenets, Yu., Yudina, T., Nazarenko, I., Goriainova, Iu. (2018). Examining a possibility of using purple amaranth in the technology for products made of yeast dough, *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*, 2, 11 (92), 57–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127173>.
7. Simakova O. O., Horiainova Yu. A., Pusikova O. A., Vasylevska A. O. (2022). *Doslidzhennia mozhlyvosti vykorystannia dobavok amarantu bahrianoho v tekhnolohii khlibobulochnykh vyrobiv* [Investigation of the possibility of using amaranth supplements in the technology of bakery products]. *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies]. Kryvyy Rih : DonNUET [Kryvyy Rih : DonNUET], 1 (44), 14–20.
8. Simakova, O.O., Nykyforov, R.P. (2018). Rozrobka novitnikh tekhnolohii vyrobiv z boroshna s zadanymy vlastyvostiamy [Development of the newest technologies of products from flour with the set properties]. Kryvyy Rih, DonNUET Publ., 146 p.
9. Mykhaylov, V., Samokhvalova, O., Kucheruk, Z., Kasabova, K., Simakova, O., Goriainova, Iu., Rogovaya, A., Choni, I. (2019). Influence of microbial polysaccharides on the formation of structure of protein-free and gluten-free flour-based products, *Eastern European Journal of Enterprise technologies: Technology and equipment of food production*, 6, 11 (102), 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184464>.
10. Korzun, V. N., Tykhonenko, Yu. S. (2010). Funktsionalni produkty i yikh rol u kharchuvanni liudyny [Functional products and their role in human nutrition], *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii* [Scientific Works of Odessa National Academy of Food Technologies], 38(2), 173–178.

Objective. Study of acid-alkaline transformations of mountain ash bioflavonoids.

Methods. The chemical analysis of the total content of phenolic substances in mountain ash was carried out by the volumetric method, which is based on the principle of oxidation of phenols with potassium permanganate in the presence of indigo carmine. The presence of phenolic substances in the composition of rowan fruits was carried out by the method of IR spectroscopy.

Results. A chemical analysis of the total content of phenolic substances in rowan fruits showed the content of phenolic substances in the substrate to be 1950 mg/100 g, which places these fruits in one of the first places in terms of the content of P-vitamin substances. They are second only to chokeberry, in which P-vitamin compounds sometimes reach 5000 mg/100 g. The behavior of the amount of phenolic substances-bioflavonoids of rowan fruits during the action of acidic and basic reagents on it was considered in detail. For this, the spectrophotometry method was used. Depending on the pH of the medium, changes are observed in the spectra of water extracts of rowan fruits, which

make it possible to judge the structure of bioflavonoids of the substrate. Preparations from rowan fruits look promising from the point of view of using them to create functional food products. On the other hand, phenolic derivatives are among the strongest inhibitors of free radicals, i.e. antioxidants. The presence of a large number of phenolic hydroxyls in bioflavonoid molecules makes them promising as natural antioxidants. The addition of such antioxidants to food products will significantly improve their functional properties and give such products a therapeutic and preventive direction.

Keywords: *mountain ash, phenolic substances, flavonoids, bioflavonoids, flavones, flavonols, antioxidants, functional food products, spectrophotometry.*

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2024-49-2-47-54

УДК (664.761:658.562):535.65.08(045)

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук

Омельченко О. В., канд. техн. наук

Шляхов М. В., здобувач ОС магістра

Гаврилов О. О., здобувач ОС бакалавра

Шилін А. С., здобувач ОС бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ БОРОШИНА ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЛЬОРУ

УДК (664.761:658.562):535.65.08(045)

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences

Shlyakhov M. V., a graduate of a master's degree

Gavrilov O. O., a graduate of a bachelor degree

Shilin A. S., a graduate of a bachelor degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rig, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

FLOUR TESTING WITH COLOUR MEASURING EQUIPMENT

Мета. Метою статті є дослідження борошна за допомогою обладнання для вимірювання кольору.

Методи. У роботі для дослідження якості борошна за допомогою вимірювання кольору застосовано триколірний колориметр.

Результати. Зазначено, що у всьому світі пшениця і рис є найважливішими культурами, бо на них припадає понад 50% світового виробництва зернових. Пшениця є важливою зерновою культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства. Цільне зерно є чудовим джерелом складних вуглеводів, харчових волокон, а також різних вітамінів і мінералів, що робить його цінною продовольчою культурою для споживання. Борошно є найбільш широко використовуваною формою переробки зерна, оскільки більшість виробів на основі борошна виготовляються з його використанням. Тому оцінка якості борошна за допомогою різних методів вимірювання є необхідною для отримання якісної сировини. Розглянуто методи випробування пшениці на якість, а саме: вміст вологи, вміст мінеральних речовин, вміст білка тощо. Вважається, що борошно є одним із найбільш часто використовуваних харчових інгредієнтів для багатьох різних продуктів: хліб, печиво, локишина тощо. Борошно перемелене з пшениці дає багато видів і його якість часто асоціюється з кольором. Колір борошна можна оцінити якщо виміряти його яскравість і жовтизну. На яскравість впливає вміст висівків і процес помелу, а жовтизна борошна пов'язана з каротиноїдними пігментами пшениці. Колір борошна може впливати на колір готового продукту. Борошно яскраво-білого кольору більш бажане для багатьох виробів. Колір борошна визначають шляхом вимірювання білизни зразка борошна. Зазначено, що традиційно колір борошна оцінюють візуально. Метод є суб'єктивним, оскільки сприйняття кольору

відрізняється у різних людей, а також навколишній колір і умови освітлення можуть впливати на колірне судження. Досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору: біле, кукурудзяне, житнє. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі стандартної шкали оцінювання: значення L^* білизна (100 білий, 0 чорний); значення a^* позитивні значення +60 (червоний колір), негативні значення – 60 (зелений колір); значення b^* позитивні значення +60 (жовтий колір), негативні значення – 60 (синій колір). Інтерпретовано результати дослідження: біле борошно ($L^* +92,5$ білизни, $a^* - 2,4$ зеленого кольору, $b^* +6,9$ жовтого кольору); кукурудзяне борошно ($L^* +72$ білизни, $a^* - 6,5$ червоного кольору, $b^* +54$ жовтого кольору); житнє борошно ($L^* +63$ білизни, $a^* - 6,8$ червоного кольору, $b^* +22,1$ жовтого кольору).

Ключові слова: пшениця, борошно, колір, методи випробування пшениці на якість, вимірювання, харчова цінність, помел, вологість.

Постановка проблеми. У всьому світі пшениця і рис є найважливішими культурами, бо на них припадає понад 50% світового виробництва зернових. Пшениця є важливою зерновою культурою, яка має величезне значення з точки зору продовольства. Протягом тисячоліть люди широко споживали пшеницю і більше половини населення світу значною мірою залежить від неї, як основного джерела білків і вуглеводів. Злакова культура відіграє значну роль у формуванні людської цивілізації та залишається невід'ємною частиною нашого повсякденного життя як джерела їжі [1, 2, 3]. Пшениця є переважаючим видом, що культивується в усьому світі та служить основним джерелом борошна для виробництва хліба, макаронних виробів та інших хлібобулочних виробів. Особливо цільне зерно пшениці є чудовим джерелом складних вуглеводів, харчових волокон, а також різних вітамінів і мінералів, що робить його цінною продовольчою культурою для споживання. Борошно є найбільш широко використовуваною формою переробки зерна, оскільки більшість виробів виготовляються з його використанням.

Пшеничне борошно виготовляється шляхом помелу. Помел – це процес, який використовується для подрібнення зерен злаків. Мета помелу полягає в тому, щоб відокремити різні частини зерна пшениці та зменшити їх розмір. Протягом багатьох років з'явилися різні техніки, з-поміж яких роликве фрезерування та циліндричне фрезерування, яке використовується найчастіше через його високу продуктивність [4]. Проте якість борошна може змінюватися залежно від багатьох чинників. Тому оцінка якості борошна за допомогою різних методів вимірювання є необхідною для отримання якісної сировини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні застосовується багато методів випробування пшениці на якість, а саме: вміст вологи, вміст мінеральних речовин, вміст білка тощо.

1. Вміст вологи є важливим показником якості борошна, оскільки вологість необхідно регулювати перед помелом. Пшениця або борошно з високим вмістом вологи (понад 14,5%) приваблюють цвіль та бактерії, які сприяють псуванню сировини у процесі зберігання [5]. Пшениця з низьким вмістом вологи більш стійка при зберіганні. Вологість може бути показником економічності при помелі. Однак, пшениця із занадто низькою вологістю вимагає спеціальної обробки для досягнення стандартного рівня вологості.

2. Зольність пшениці і борошна має велике значення у процесі отримання якісної сировини. Необхідно знати загальний вміст мінеральних речовин у пшениці, щоб досягти бажаного або заданого рівня золи в борошні. Оскільки зола в основному концентрується у висівках, тому зольність у борошні є показником виходу сировини, яку можна очікувати під час помелу. Зольність також вказує на продуктивність помелу, опосередковано виявляючи кількість забруднення [5, 6, 7]. Зола в борошні може впливати на колір, надаючи більш темний колір готовим виробам. Деякі спеціальні продукти, що вимагають особливо білого борошна, вимагають низького вмісту золи, тоді як інші продукти, такі як цілнозернове борошно, мають високий вміст золи.

3. Міцнісні властивості зерна мають значний вплив на енергоємність подрібнювачів. Під час подрібнення зерна в сировині виникає складний стан напружень, при цьому переважають напруги зсуву і стиснення. Визначення сил, що викликають розтріскування зерна (розрив), можна розглядати як перший крок для визначення потреби в енергії у процесі подрібнення зерна. У разі статичного стиснення, для визначення сил і напруги і, отже, роботи (енергії), необхідної для дроблення одного зерна, а потім більше десятка зерен, можна провести випробування на статичне стиснення [8]. Експериментальним шляхом можуть бути визначені діапазони ймовірних сил, що руйнують зерно, а в подальшому і енергетичні діапазони руйнування його структури. Фізико-механічні властивості зерен багато в чому залежать від специфіки переробки зерна і енергоємності технологічної операції, наприклад, помелу, сушіння, гранулювання тощо.

4. Вміст білка є ключовим для споживачів, оскільки він пов'язаний з багатьма технологічними властивостями, такими як водопоглинання та міцність клейковини. Вміст білка також може бути пов'язаний з атрибутами готового продукту, такими як текстура та зовнішній вигляд. Низький вміст білка бажаний для хрустких або ніжних продуктів, таких як закуски або тістечка. Високий вміст білка необхідний для продуктів з більш твердою текстурою, таких як подовий хліб. Пекарі використовують результати вмісту білка, щоб передбачити поглинання води, оскільки для досягнення оптимальної консистенції тіста з більшим вмістом білка зазвичай потрібно більше води та довший час перемішування. Застосовується аналізатор білка [5, 7]. Результати вмісту білка виражаються у відсотках від загальної маси зразка. Наприклад, вміст білка 10% на основі вологості 12% для пшениці або 8,5% на основі вологості 14% для борошна. Дуже важливо враховувати рівень білка, вибираючи ідеальне борошно для рецепту. Хлібопекарське борошно зазвичай має вміст білка 12-14%, універсальне – 9-12%, кондитерське борошно – 8-9%, а борошно для тортів – близько 7-8%. Ці відсотки білка є показником потенціалу клейковини будь-якого борошна. Клейковина, що утворюється при змішуванні пшеничного борошна з водою, відповідає за текстуру хлібобулочних виробів. Чим вищий вміст білка, тим більше клейковини потенційно може розвинути тісто. Це не означає, що борошно з високим вмістом білка краще, ніж низькобілкове.

5. Колір борошна часто впливає на колір готового продукту і тому є однією з багатьох специфікацій борошна, необхідних кінцевим споживачам. Борошно яскраво-білого кольору більш бажане для багатьох виробів. Колір борошна визначають шляхом вимірювання білизни зразка борошна хромометром [5, 6, 7]. Результати кольору борошна отримують у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі наступної шкали оцінювання: значення L^* білизна (100 білий, 0 чорний); значення a^* позитивні значення +60 (червоний колір), негативні значення – 60 (зелений колір); значення b^* позитивні значення +60 (жовтий колір), негативні значення – 60 (синій колір). Наприклад, значення кольору типового білого борошна: L^* значення +92,5 білизни, a^* значення – 2,4 зеленого кольору, b^* значення +6,9 жовтого кольору.

6. Водопоглинання борошна впливає на міцність тіста. Для вимірювання водопоглинання борошна і міцності тіста застосовується тест фарінографа, який є одним із найбільш часто використовуваних тестів якості борошна у світі [5, 6]. Результати фарінографа слугують для прогнозування характеристик текстури готового виробу. Тест фарінографа вимірює і реєструє стійкість тіста у процесі замішування:

- кількості води, яка необхідна для оптимальної переробки борошна;
- піковий час для приготування тіста, починаючи з моменту додавання води, поки тісто не досягне максимальної консистенції, що дає уявлення про оптимальний час змішування в стандартизованих умовах.

7. Вміст клейковини надає інформацію про кількість клейковини в зразках пшениці. Клейковина відповідає за пружність тіста. Вміст вологої клейковини визначають шляхом промивання зразка борошна або меленої пшениці розчином солі для видалення крохмалю та інших розчинних речовин зі зразка. Залишок, що залишився після промивання – волога

клейковина. Під час центрифугування клейковина продавлюється через сито. Відсоток клейковини, що залишається на ситі, визначається як індекс клейковини, який є показником міцності клейковини. Високий індекс клейковини вказує на сильну клейковину [5, 8]. Результати вмісту вологої клейковини виражаються у відсотках на основі вологості 14%. Наприклад, 35% для пшениці з високим вмістом білка, сильною клейковиною або 23% для пшениці з низьким вмістом білка, слабкою клейковиною. Борошно зі слабкою клейковиною має менше водопоглинання ніж борошно з сильною клейковиною.

Мета статті – дослідження борошна за допомогою обладнання для вимірювання кольору.

Виклад основного матеріалу дослідження. Злаки – це загальний термін для продовольчих культур, що охоплює широкий спектр харчових продуктів, включаючи рис, пшеницю, просо, кукурудзу, що є найважливішими компонентами раціону людини. Крупи містять багато поживних речовин, включаючи білки, крохмаль, ліпіди, мікроелементи та вітаміни, що є основним джерелом енергії для організму. Вони відіграють ключову роль у раціоні як основні продукти харчування. Достатнє споживання злаків може регулювати механізми організму та знижувати частоту таких захворювань, як гіпертонія, діабет та судинні захворювання.

Основною технологічною операцією переробки зерна є помел – подрібнення зерна таким чином, щоб його можна було легко приготувати і перетворити на привабливий харчовий продукт. Подрібнення зерна відбувається шляхом застосування механічних сил, які змінюють структуру зерна шляхом подолання внутрішніх сил зв'язування, після чого стан твердої речовини змінюється на борошно [9]. Зернова продукція переробляється в тій чи іншій формі перед тим, як її фактично споживають. Одним з важливих процесів, пов'язаних з нехімічними змінами є перетворення зібраного зерна на борошно.

Основна мета помелу – поступове зменшення розмірів для отримання борошна з максимально рівномірним розподілом частинок за розміром. Традиційно помел включає повторюване подрібнення та розділення в системі поступового відновлення, щоб відокремити різні компоненти зерна (насіннєву оболонку, ендосперм та зародок) для отримання борошна якомога одноріднішого розміру частинок. Подрібнювачі видаляють зовнішню оболонку насіння і таким чином полегшують виробництво борошна з дуже низьким вмістом золи.

Традиційно колір борошна оцінюють візуально. Метод є суб'єктивним, оскільки сприйняття кольору відрізняється у різних людей, а також навколишній колір і умови освітлення також можуть впливати на колірне судження. При вимірюванні кольору борошна акцент слід робити на координатах L^* і b^* в колірному просторі, а координата L^* є мірою освітленості, де 0 – чорний, а 100 – білий. Координата b^* представляє діапазон кольорів від синього до жовтого, а позитивне значення b^* вказує на жовтизну. У процесі вимірювання зразки борошна повинні бути однаковими для всіх вимірювань (наприклад, однаковий розмір зразка, контейнер, застосований тиск тощо).

У роботі було досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору. Вимірювач кольору CM-200S є компактним, простим у використанні триколірним колориметром для вимірювання колірної різниці між двома кольорами (рис. 1). Технічні характеристики вимірювача кольору наведено в таблиці 1.



Рисунок 1 – Вимірювач кольору

Таблиця 1 – Технічні характеристики вимірювача кольору [10]

Площа вимірювання	Різниця кольорів: (L*, a*, b*) Колірний простір: (L*, a*, b*)
Діапазон вимірювання	L* від 0 до 100
Стабільність	Стандартне відхилення в межах E* 0,5 (середнє значення вимірювання стандартної білої пластини)
Габарити пристрою	140x73x35 мм
Вага пристрою	220 г з акумулятором

Колір борошна може впливати на колір готового продукту. Борошно яскраво-білого кольору більш бажане для багатьох виробів. Колір борошна визначають шляхом вимірювання білизни зразка борошна. Біле борошно наведено на рисунку 2.



Біле борошно: значення L* +92,5 білизни, значення a* – 2,4 зеленого кольору, значення b* +6,9 жовтого кольору.

Рисунок 2 – Біле борошно
(універсальне)

Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі наступної шкали оцінювання: значення L* білизна (100 білий, 0 чорний); значення a* позитивні значення +60 (червоний колір), негативні значення – 60 (зелений колір); значення b* позитивні значення +60 (жовтий колір), негативні значення – 60 (синій колір) [5].

Борошно є одним із найбільш часто використовуваних харчових інгредієнтів для багатьох різних продуктів: хліб, печиво, локшина тощо. Борошно, перемелене з пшениці, дає багато видів і його якість часто асоціюється з кольором. Колір борошна можна оцінити якщо

виміряти його яскравість і жовтизну. На яскравість впливає вміст висівок і процес помелу, а жовтизна борошна пов'язана з каротиноїдними пігментами пшениці.



Кукурудзяне борошно: значення L^* +72 білизни, значення a^* – 6,5 червоного кольору, значення b^* +54 жовтого кольору.

Рисунок 3 – Кукурудзяне борошно



Житнє борошно: значення L^* +63 білизни, значення a^* – 6,8 червоного кольору, значення b^* +22,1 жовтого кольору.

Рисунок 4 – Житнє борошно

Отже, пшеничне борошно виготовляється шляхом помелу. Помел – це процес, який використовується для подрібнення зерен злаків. Мета помелу полягає в тому, щоб відокремити різні частини зерна пшениці та зменшити їх розмір. Протягом багатьох років з'явилися різні техніки, з-поміж яких роликове фрезерування та циліндричне фрезерування, яке використовується найчастіше через його високу продуктивність. Проте якість борошна може змінюватися залежно від багатьох чинників. Тому оцінка якості борошна за допомогою різних методів вимірювання є необхідною для отримання якісної сировини.

Борошно є одним із найбільш часто використовуваних харчових інгредієнтів для багатьох різних продуктів: хліб, печиво, локшина тощо. Борошно, перемелене з пшениці дає багато видів і його якість часто асоціюється з кольором. Колір борошна можна оцінити якщо виміряти його яскравість і жовтизну. На яскравість впливає вміст висівок і процес помелу, а жовтизна борошна пов'язана з каротиноїдними пігментами пшениці. Колір борошна може впливати на колір готового продукту. Борошно яскраво-білого кольору більш бажане для багатьох виробів. Колір борошна визначають шляхом вимірювання білизни зразка борошна.

Досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору. Вимірювач кольору CM-200S є компактним, простим у використанні триколірним колориметром для вимірювання колірної різниці між двома кольорами. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі наступної шкали оцінювання: значення L^* білизна (100 білий, 0 чорний); значення a^* позитивні значення +60 (червоний колір), негативні значення – 60 (зелений колір); значення b^* позитивні значення +60 (жовтий колір), негативні значення – 60 (синій колір). Інтерпретовано результати дослідження: біле борошно (L^* +92,5 білизни, a^* – 2,4 зеленого кольору, b^* +6,9 жовтого кольору); кукурудзяне

борошно ($L^* +72$ білизни, $a^* - 6,5$ червоного кольору, $b^* +54$ жовтого кольору); житнє борошно ($L^* +63$ білизни, $a^* - 6,8$ червоного кольору, $b^* +22,1$ жовтого кольору).

Висновки. Розглянуто методи випробування пшениці на якість, а саме: вміст вологи, вміст мінеральних речовин, вміст білка тощо. Зазначено, що традиційно колір борошна оцінюють візуально. Метод є суб'єктивним, оскільки сприйняття кольору відрізняється у різних людей, а також навколишній колір і умови освітлення також можуть впливати на колірне судження. Було досліджено три зразка борошна за допомогою вимірювача кольору: біле, кукурудзяне, житнє. Результати кольору трьох сортів борошна було отримано у вигляді 3-вимірних значень кольорів на основі стандартної шкали оцінювання. Інтерпретовано результати дослідження: біле борошно ($L^* +92,5$ білизни, $a^* - 2,4$ зеленого кольору, $b^* +6,9$ жовтого кольору); кукурудзяне борошно ($L^* +72$ білизни, $a^* - 6,5$ червоного кольору, $b^* +54$ жовтого кольору); житнє борошно ($L^* +63$ білизни, $a^* - 6,8$ червоного кольору, $b^* +22,1$ жовтого кольору).

Список літератури

1. Злаки і їх корисні елементи. Режим доступу: <https://rice.ua/zdorovya-ta-krasa/zdorove-harchuvannya/korist-dlya-zdorovya/zlaki-i-yih-korisni-elementi>.
2. Чим корисні крупи? Режим доступу: <https://rice.ua/zdorovya-ta-krasa/zdorove-harchuvannya/korist-dlya-zdorovya/chym-korysni-krupy>.
3. 22 types of whole grains and their nutritional values. URL: <https://www.nutritionadvance.com/types-of-whole-grains/>.
4. Обладнання для переробки зерна. Режим доступу: <https://simo.com.ua/ua/public/pererabotka-zernovih-kultur-etapi-neobhodimoe-oborudovanie>.
5. Wheat and flour testing methods. URL: <https://www.ndsu.edu/faculty/simsek/resources>.
6. The latest innovations in wheat flour milling: a review. URL: <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/agriceng-2023-0011>.
7. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. Режим доступу: https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl_2023.pdf.
8. Mechanical and processing properties of rice grains. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/552>.
9. Черевко О.І., Поперечний А.М. Процеси і апарати харчових виробництв. Х.: Світ Книг, 2014. 495 с.
10. Колориметр СМ-200S. Режим доступу <https://simvolt.ua/kolorimetr-vimryuvach-koloru-walcom-cm-200s.html/>.

References

1. *Zlaky ta yikh korysni elementy* [Cereals and their root elements]. Access mode: <https://rice.ua/zdorovya-ta-krasa/zdorove-harchuvannya/korist-dlya-zdorovya/zlaki-i-yih-korisni-elementi>.
2. *Chym korysni krupy?* [What are the benefits of cereals?]. Access mode: <https://rice.ua/zdorovya-ta-krasa/zdorove-harchuvannya/korist-dlya-zdorovya/chym-korysni-krupy>.
3. *22 vydy tsil'noho zerna ta yikh kharchova tsinnist'* [22 types of whole grains and their nutritional values]. Access mode: <https://www.nutritionadvance.com/types-of-whole-grains/>.
4. *Obladnannya dlya pererobky zerna* [Grain processing equipment]. Access mode: <https://simo.com.ua/ua/public/pererabotka-zernovih-kultur-etapi-neobhodimoe-oborudovanie>.
5. *Metody vyprobuvannya pshenytsi ta boroshna* [Wheat and flour testing methods]. Access mode: <https://www.ndsu.edu/faculty/simsek/resources>.
6. *Ostanni novynky v boroshnomel'nomu vyrobnytstvi: ohlyad* [The latest innovations in wheat flour milling: a review]. Access mode: <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/agriceng-2023-0011>.

7. *Metody vyznachennya pokaznykiv yakosti produktsiyi roslinnytstva* [Methods of determining plant production quality indicators]. Access mode: https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/MetodRosl_2023.pdf.
8. *Mekhanichni ta tekhnolohichni vlastyvoli rysovoho zerna* [Mechanical and processing properties of rice grains]. Access mode: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/552>.
9. Cherevko, O.I., Poperechnyy, A.M. (2014). *Protsesy i aparaty kharchovykh vyrobnytstv* [Processes and devices of food production]. Kharkiv: World of Books, 495 c.
10. *Kolorymetr CM-200S* [Colorimeter CM-200S]. Access mode: <https://simvolt.ua/kolorimetr-vimryuvach-koloru-walcom-cm-200s.html/>.

Objective. The aim of this paper is to investigate flour using color measuring equipment.

Methods. In this work, a three-color colorimeter was used to study the quality of flour by measuring color.

Results. It is noted that wheat and rice are the most important crops worldwide because they account for more than 50% of the world's cereal production. Wheat is the most important cereal crop, which is of great importance in terms of food. Whole grain is an excellent source of complex carbohydrates, dietary fiber, and various vitamins and minerals, making it a valuable food crop for consumption. Flour is the most widely used form of grain processing, since most flour-based products are made using it. Therefore, assessing the quality of flour using various measurement methods is necessary to obtain high-quality raw materials. The methods for testing wheat for quality, namely moisture content, mineral content, protein content, etc. are considered. Flour is considered to be one of the most commonly used food ingredients for various products: bread, cookies, noodles, etc. Flour milled from wheat gives many types and its quality is often associated with color. The color of flour can be assessed by measuring its brightness and yellowness. The brightness is affected by the bran content and the milling process, and the yellowness of the flour is associated with the carotenoid pigments of wheat. The color of the flour can affect the color of the finished product. Bright white flour is preferable for many products. The color of the flour is determined by measuring the linen of the flour sample. It is noted that the color of the flour is usually assessed visually. The method is subjective, since color perception varies among individuals, and the surrounding color and lighting conditions can affect color judgment. Three flour samples were tested using a color meter: white, corn, rye. The color results of the three flour grades were obtained as 3-dimensional color values based on a standard rating scale: L^* values (100 white, 0 black); a^* values positive values +60 (red), negative – 60 (green); b^* values positive values +60 (yellow), negative - 60 (blue). The results of the study were interpreted: white flour ($L^* +92.5$ white, $a^* - 2.4$ green, $b^* +6.9$ yellow); corn flour ($L^* +72$ white, $a^* - 6.5$ red, $b^* +54$ yellow); rye flour ($L^* +63$ white, $a^* - 6.8$ red, $b^* +22.1$ yellow).

Key words: wheat, flour, color, methods of testing wheat for quality, measurement, nutritional value, milling, moisture.

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТУНЕЛЬНИМИ ПЕЧАМИ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

UDC (681.5:621.3.036):621.311-026.16(045)

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering
Science, Professor*
Korenets Yu. M., Senior Lecturer
Trunov V. Yu., a graduate of a master's degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

AUTOMATION OF TUNNEL FURNACE CONTROL IN CONDITIONS OF POWER SYSTEM INSTABILITY

Мета. Метою роботи є розробка рішень для оптимізації теплових режимів тунельних печей в умовах обмежень постачання електрикою за допомогою мехатронних модулів живлення. Дана мета конкретизується у вирішенні завдань із забезпечення рівномірності температурного розподілу в пекарній камері, підвищенні загальної продуктивності печі та зменшенні загальних енерговитрат. Оптимізація теплових режимів тунельної печі також дозволить покращити якість продукції та збільшити ресурс обладнання, зменшивши при цьому експлуатаційні витрати.

Методи. Для реалізації мети, пов'язаної з оптимізацією теплових режимів тунельних печей за допомогою мехатронних модулів живлення, використано комплексний підхід із застосуванням сучасних методів дослідження: енергетичного аудиту поточного стану енергоспоживання печі з оцінкою витрат та потенціалу економії; розробки, оптимізації та впровадження алгоритмів для автоматичного регулювання теплових режимів на основі даних, отриманих з термодатчиків та оброблених за допомогою статистичних методів аналізу.

Результати. У статті висвітлюються перспективні результати, які можуть суттєво покращити технологічний процес виробництва борошняних виробів в конвеєрних печах тунельного типу. Одним із ключових досягнень є оптимізація теплових режимів тунельних печей за допомогою систем автоматизації, які базуються на алгоритмах нечіткої логіки (фаззі-логіки). Завдяки об'єктивному аналізу технологічного процесу в режимі реального часу ці системи забезпечують стабільне управління навіть в умовах нестабільного постачання електроенергії. Впровадження автоматизації дозволяє зменшити загальні енерговитрати за рахунок раціонального використання енергії, забезпечення рівномірного температурного розподілу в пекарній камері та зменшення теплових втрат. Це, у свою чергу, позитивно впливає на якість готової продукції, яка буде більш однорідною і відповідатиме високим стандартам якості. Крім того, покращення стабільності теплових режимів сприятиме збільшенню продуктивності тунельних печей, що є важливим для задоволення зростаючого попиту на хлібобулочні вироби. Важливо, що застосування мехатронних модулів

живлення не лише підвищує енергетичну ефективність, а й дозволяє мінімізувати експлуатаційні витрати. Завдяки оптимізації роботи обладнання збільшується його ресурс, що знижує витрати на обслуговування і ремонт. Також проведення енергетичного аудиту і використання сучасних статистичних методів для аналізу даних створює можливості для розробки адаптивних рішень, які враховують специфіку конкретного виробничого процесу. Отримані результати відкривають перспективи масштабування запропонованих рішень для інших типів теплового обладнання, що може бути корисним для харчової промисловості в цілому. Таким чином, автоматизація тунельних печей є важливим кроком до підвищення технологічної, економічної та екологічної ефективності виробництва, сприяючи сталому розвитку промисловості навіть в умовах енергетичної нестабільності.

Ключові слова: тунельна піч, енергоживлення, тепловий режим, математичне моделювання, оптимізація, мехатронний модуль, автоматизація.

Постановка проблеми. В умовах збройної агресії росії проти України особливого значення набула проблема забезпечення стабільної роботи промислового обладнання в умовах нестабільності енергосистеми. Постійні відключення електроенергії, коливання напруги та обмеження енергопостачання створюють критичні виклики для підприємств, що використовують енергоємне обладнання, зокрема тунельні печі, які широко застосовуються у харчовій промисловості.

Тунельні печі є важливими технологічними агрегатами, які забезпечують безперервність виробничих процесів і високу якість продукції. Однак їх функціонування залежить від стабільного постачання електроенергії для забезпечення рівномірного нагріву, роботи систем керування та вентиляції. В умовах енергетичної нестабільності ці процеси порушуються, що призводить до:

- нерівномірного розподілу температур у пекарній камері;
- зниження продуктивності обладнання;
- збільшення енерговитрат і зносу обладнання;
- втрат сировини та недотримання технологічних стандартів;
- погіршення якості продукції.

Актуальність проблеми посилюється необхідністю зниження експлуатаційних витрат та оптимізації енергоспоживання у відповідь на виклики енергетичної кризи.

Існуючі системи керування тунельними печами не адаптовані до роботи в умовах нестабільного енергопостачання, в них відсутні механізми компенсації коливань температури в режимі реального часу. Низький рівень автоматизації такого обладнання спричинює неефективне використання енергії. У періоди роботи на автономних джерелах енергії відбуваються перевитрати енергоресурсів.

Збої в енергопостачанні спричиняють порушення технологічних циклів та підвищують ризики втрати партії продукції або зниження рівня її якості.

Для забезпечення безперебійної роботи тунельних печей в умовах енергетичної нестабільності потрібні нові підходи до керування технологічними процесами та їх автоматизації, які включають:

- розробку адаптивних мехатронних модулів, здатних працювати на альтернативних джерелах живлення;
- інтеграцію систем прогнозування технологічного процесу та оптимізації енергоспоживання;
- застосування інтелектуальних систем моніторингу та регулювання температурного режиму в камері тунельної печі.

Вирішення цієї проблеми сприятиме підвищенню енергоефективності, зменшенню експлуатаційних витрат та покращенню стійкості виробничих процесів до зовнішніх викликів, що є критично важливим у сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виробництво хліба та хлібобулочних виробів страва складається з багатьох етапів, кожен з яких є важливим для отримання якісного продукту. Проте етап випікання є, безперечно, найважливішим, оскільки саме на цьому етапі тісто та інші інгредієнти перетворюється на готовий виріб. Під час випікання відбуваються основні фізико-хімічні процеси, які надають продукту його кінцеву форму, текстуру, смак та аромат.

Тунельні печі широко використовуються в харчовій промисловості для виробництва хлібобулочних виробів, де стабільність теплових режимів є ключовим чинником забезпечення якості продукції. Однак сучасні виклики, пов'язані зі зростаючою нестабільністю вітчизняної енергосистеми, вимагають нових підходів до автоматизації процесів керування печами для підвищення їхньої енергоефективності та продуктивності.

Більшість класичних систем автоматизації, розглянутих у дослідженнях вітчизняних вчених [1-3], базуються на застосуванні ПІД-регуляторів для управління температурою та її розподілом в робочому просторі. Хоча ці методи забезпечують базовий контроль, вони часто не враховують динамічних змін у процесі та мають обмежену адаптивність до нестабільного постачання енергії.

У сучасній літературі багато уваги приділено інтеграції нечіткої логіки (fuzzy logic) для регулювання теплових процесів [4-7]. Такі системи дозволяють аналізувати складні нелінійні процеси в реальному часі та приймати оптимальні рішення навіть за відсутності чітко визначених математичних моделей. Однак, проблема масштабованості таких систем і обчислювальних витрат залишається актуальною.

Інноваційним підходом є впровадження в технологічний процес мехатронних модулів, що забезпечують розподілене управління та покращують енергозбереження за рахунок локальної адаптації [8-10]. У літературі цей напрям розглядається як перспективний, однак дослідження здебільшого обмежуються лабораторними умовами, що ставить питання про ефективність таких модулів у промислових масштабах.

Роботи [11, 12] демонструють важливість енергетичного аудиту для ідентифікації вузьких місць у споживанні енергії тунельними печами. Такі дослідження сприяють розробці моделей оптимізації теплових режимів. Водночас, автори вказують на необхідність інтеграції цих моделей з автоматизованими системами для досягнення максимального ефекту.

Використання Інтернету речей (IoT) та цифрових двійників (digital twins) [6, 7, 13] виявляється ефективним для моніторингу та передбачення змін у процесах. Ці технології можуть забезпечити детальне моделювання тунельних печей, проте потребують значних інвестицій у інфраструктуру, що є бар'єром для малого та середнього бізнесу.

Незважаючи на значні досягнення, більшість існуючих досліджень зосереджуються на окремих аспектах автоматизації – від оптимізації теплових режимів до енергозбереження. Відсутній системний підхід, що інтегрує сучасні алгоритми (наприклад, нечітка логіка), мехатронні модулі живлення та IoT у єдину платформу. Також обмежена кількість досліджень враховує умови реальної нестабільності енергопостачання, що є критично важливим для промисловості.

Для вирішення виявлених проблем необхідно:

- розробити комплексні автоматизовані системи, що об'єднують методи нечіткої логіки, мехатроніку та IoT;
- здійснити масштабні дослідження в умовах реального виробництва для перевірки ефективності нових підходів;
- інтегрувати моделі машинного навчання для прогнозування змін у процесах та адаптації до нестабільності енергосистем;
- вивчити можливості зниження витрат на впровадження таких рішень, що сприятиме їх доступності для підприємств різного масштабу.

Автоматизація тунельних печей в умовах нестабільності енергосистем є складною, але важливою задачею для харчової промисловості. Попри значні досягнення у сфері оптимізації

та автоматизації, подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію передових технологій у цілісні системи, що забезпечать стабільність, ефективність і якість виробничих процесів.

Метою статті є розробка рішень для оптимізації теплових режимів тунельних печей в умовах обмежень постачання електрикою за допомогою мехатронних модулів живлення. Дана мета конкретизується у вирішенні завдань із забезпечення рівномірності температурного розподілу в пекарній камері, підвищенні загальної продуктивності печі та зменшенні загальних енерговитрат. Оптимізація теплових режимів тунельної печі також дозволить покращити якість продукції та збільшити ресурс обладнання, зменшивши при цьому експлуатаційні витрати.

Виклад основного матеріалу. Для таких технологічних процесів харчової промисловості, як випікання хліба, хлібобулочних виробів, піци, лаваша, печива, сушіння макаронних виробів тощо, властива проблема, пов'язана з неможливістю постійного контролю температурних параметрів в пекарній камері під час зміни програм випікання для різних видів продукції або під час переходу на альтернативні джерела живлення в умовах нестабільного енергопостачання. У цих випадках контроль здійснюється технологічним персоналом візуально або за допомогою мехатронних датчиків. При цьому точність автоматичного контролю температури вздовж конвеєра та теплових потоків в пекарній камері тунельної печі залежить від змін параметрів декількох факторів зовнішнього впливу, наприклад, від стабільності електрозабезпечення тунельної печі.

Необхідність забезпечення якості технологічного процесу та кінцевого продукту в умовах нестабільного режиму електропостачання тунельної печі вимагає розв'язання певних проєктних завдань, а саме:

- оцінки температурного поля та розподілу теплових потоків вздовж конвеєрної стрічки і поду камери;
- розробки алгоритму оптимального розподілу теплових потоків у робочій камері тунельної печі в період сталого електропостачання електрики;
- моделювання розподілу теплових потоків і температурного поля в двомірному просторі робочої камери;
- розробки алгоритму розрахунку температурного поля в продукті і на його поверхні;
- розробки мехатронних модулів для електропостачання тунельної печі в періоди аварійних та/або віялових відключень;
- розробки мехатронної системи ситуаційного керування процесом виробництва якісної продукції різного виду в умовах адаптивного інтелектуального керування роботою тунельної печі на основі мехатронних модулів живлення;
- розробки структурного алгоритму роботи інтелектуальної системи керування технологічним процесом (ІСКТП) з прогнозуючою моделлю параметрів теплових потоків Q_{Σ} , Q_K , Q_{Pr} ; температур поверхонь конвеєрної стрічки та виробів, T_{Π} і T_B відповідно; оцінкою коефіцієнтів складної теплопередачі тунельної печі α_{Σ} .

При складній тепловіддачі загальний тепловий потік Q_{Σ} об'єднує два види теплопередачі: конвекцію (Q_K) та випромінювання (Q_{Pr}). Конвекція відбувається через рух повітря або іншого газу біля поверхні тіла, якому передається тепло, а випромінювання – це енергія, яку тіло випромінює в навколишнє середовище. При розрахунках теплових процесів важливо враховувати обидва види теплопередачі, оскільки вони разом формують загальний ефект теплообміну. Це дозволяє отримати більш точні результати при проєктуванні і аналізі теплових систем:

$$Q_{\Sigma} = Q_K + Q_{Pr}, \quad (1)$$

де Q_K – тепловий потік конвекцією, що залежить від коефіцієнта тепловіддачі та температури поверхні й середовища;

Q_{Pr} – променевий тепловий потік, що утворюється за рахунок випромінювання енергії з поверхні нагрітого тіла.

На підставі інформації, отриманої в процесі аналізу експертних оцінок, тепловий баланс для перетину робочої камери тунельної печі можна описати рівнянням виду:

$$\int_L Q dl = 0 \quad (2)$$

При цьому інтеграл від функції теплових потоків $Q(l)$ беруть за прямокутною межею L розміщення виробів в робочій камері тунельної печі.

Рішення задачі оптимізації теплових потоків пов'яжемо із системою, що складається з двох параметрів:

- 1) x – координати за довжиною конвеєра тунельної печі;
- 2) $\Delta Q(x)$ – прирощення функції теплових потоків.

Межа утворення скоринки має нечіткий характер і контролюється мехатронним пристроєм – технічним зором – у візуальний спосіб. Ступінь нечіткості оцінки якості продукції характеризується ступенем нечіткості визначення межі готовності виробів і ступенем нечіткості візуалізації процесу. У відповідності з цим оцінка x_a , може бути формалізована нечіткою підмножиною x_a з функцією належності $\mu_{x_a}(x)$, дана функція може бути задана у вигляді дзвоноподібної кривої з максимумом в точці x_a .

Перейдемо до розгляду формалізації якісного опису функції $Q(x)$ теплових потоків, які поглинаються виробами в робочій камері тунельної печі.

Якісна інформація полягає в тому, що при зміні координати x_a від межі зони випікання у напрямку завантаження наступної партії виробів тепловий потік повинен зменшитись. При відключенні електрозабезпечення функція $Q(x)$ теж зміниться, тобто якщо прийняти $x = x_a$, тоді:

$$\mu_x(x) = \mu_{x_a} = \mu_{x_a}(x), \quad (3)$$

$$Q(x - \Delta x) = Q(x) + \Delta Q(x_a). \quad (4)$$

При цьому необхідно обчислити нечітке відношення, яке характеризує координату x , тобто $\mu_{x_{i+1}}(x) = \mu_{x_i}(x - \Delta x)$. Після цього необхідно обчислити оптимальний тепловий потік, необхідний для виробництва виробу з параметрами $r_n = l \times l$, тоді:

$$I = \int_L Q(L) dl. \quad (5)$$

Нехай виріб, який знаходиться на поверхні конвеєра з координатами $\{x, y\}$, перебуває в полі температур $T\{x, y\}$. Зв'язок між параметрами визначимо нечітким відношенням R . При нагріванні виробів температура в їх верхній частині буде вищою ніж у нижній, що визначає показниковий (експоненційний) характер зміни температури в глибину виробу і є важливим при формалізації зав'язків між $T\{x, y\}$ та $Q(L)$.

Звернемо увагу на координату $\{y\}$ – глибину потоку тепла, необхідного для виробництва виробу радіусом r_n . У цьому випадку приріст температури $\Delta T(y)$ функції $T(y)$ визначимо нечіткою множиною $\Delta T y$ у вигляді максимального добутку виду:

$$\Delta T_{y+\Delta y} = \bar{y} R, \quad (6)$$

де $\Delta T y$ – нечітка підмножина універсальної множини Y , яка характеризує координату y ; Δy – крок по координаті y .

За допомогою функцій ступеня належності вираз (6) напишемо у вигляді:

$$\mu \Delta \bar{T}_{y+\Delta y}(u) = \max \left\{ \min \left[\mu_y(y), \mu_R(y, u) \right] \right\}; u \in U; y \in Y, \quad (7)$$

де Y – універсальна множина координати y ;

U – універсальна множина приросту $\Delta T(x, y)$ функції $T(x, y)$.

Цю залежність одержано при фіксованій координаті x , а тому в подальшому координату x враховувати не будемо.

Виходячи із межових умов на поверхні конвеєрної стрічки (на відстані 50 мм від верхнього поду печі) величину приросту функції $T(y)$ при $y = 0$ можна прийняти у вигляді

однокрапкової множини $\Delta T_0 = 1/(K\Delta y)$. Нечітку множину R знайдено формалізацією запропонованого умовного рівняння.

Якщо значення $\bar{y}$ близьке до 0, тоді значення $\Delta T_{y+\Delta y}^{(1)}$ буде значно більшим за значення ΔT_0 .

З метою алгоритмізації розрахунку оптимальної температури випікання виробів у тунельній печі дійсні значення прискорення ΔT обчислимо за формулою:

$$\Delta T = au + b, \quad (8)$$

де a і b – коефіцієнти, які знаходять із умов:

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \begin{cases} \varphi(x), \text{ коли } y = B \\ K, \text{ коли } y = 0 \end{cases}, \quad (9)$$

яким відповідають наближені рівності $\Delta T_{\max}(x, B) \approx \varphi(x)\Delta y$; $\Delta T_{\min}(x, 0) \approx K\Delta y$.

Якщо визначити припущення $\Delta T(y)$ у виробі як функцію $T(y)$ по координаті y та у розподілі температур на поверхні стрічки конвеєра, який будемо контролювати мехатронним датчиком температури, можна знайти зміну температури виробу за координатою y відповідно до рівняння:

$$\Delta T(y + \Delta y) = T(y) + \Delta T(y). \quad (10)$$

При такій побудові автоматизованої системи керування технологічним процесом у тунельній печі необхідно також оцінити енергозатрати (E) на виробництво різних найменувань продукції та час випікання (G) виробів різного виду з відповідними характеристиками їх якості.

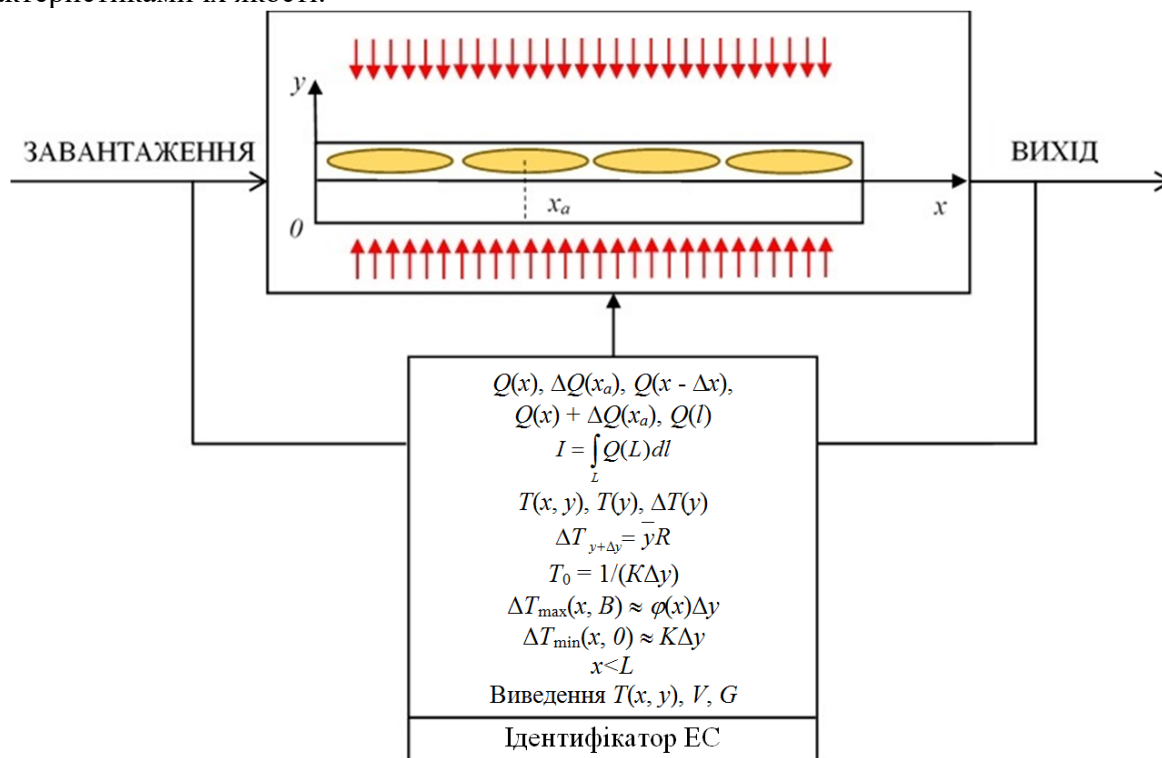


Рисунок 1 – Математична нечітка фаззі-модель тунельної печі

Важливим технологічним чинником в системі керування роботою тунельної печі є не тільки інтенсивність інфрачервоного випромінювання (I), але й швидкість руху конвеєра (V_k). Вибір оптимальної швидкості виконується за допомогою системи автоматичного керування САК асинхронного двигуна з тиристорним перетворювачем частоти ТПЧ (САК АД-ТПЧ) в межах 30-40% від номінальних значень.

В автоматизованій системі керування роботою тунельної печі головну роль відіграє АРМ оператора з бібліотекою програмних продуктів та алгоритмів керування експертною

системою (ЕС) нечіткого моделювання параметрів Q , T , E , G та багатоканального фаззі-регулювання за допомогою станції фірми «Siemens».

Приклад архітектури такої системи керування запропоновано на рис. 2. Система включає індикатори положення мехатронних датчиків, робочу станцію фірми «Siemens» з монітором (М), інформаційне табло (ІТ), блок мехатронної системи включення резервного блоку електрозабезпечення.

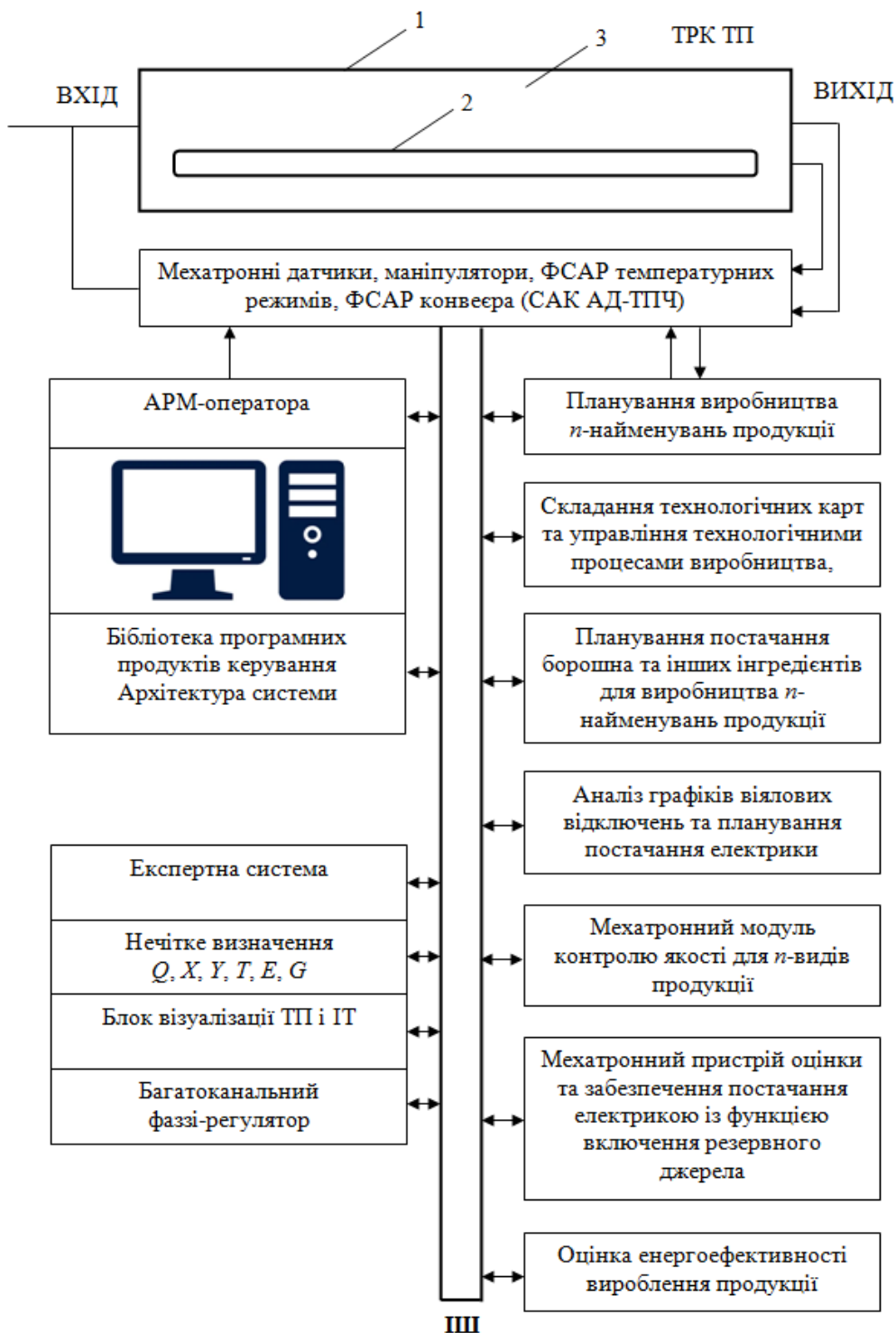


Рисунок 2 – Блок схема мехатронної системи автоматизованого контролю і керування виробництва продукції в камері тунельної печі: 1 – тунельна піч; 2 – стрічковий конвеєр, 3 – робоча теплова камера тунельної печі; ІІІ – інформаційна шина

Розроблені модулі теплових процесів і температурних режимів випікання виробів у тунельній печі дозволяють проєктантам правильно підібрати, розмістити та відкалібрувати:

- мехатронні датчики систем контролю температурного поля робочої зони випікання;
- датчики механічних маніпуляторів завантаження-розвантаження продукції;
- мехатронну систему контролю електропостачання тунельної печі.

Висновки. У запропонованій системі мехатронні датчики-маніпулятори фаззи-системи автоматичного регулювання (ФСАР) забезпечуватимуть оптимальні температурні режими і швидкість руху стрічкового конвеєра, режими роботи маніпуляторів завантаження-розвантаження продукції, контроль її якості та продуктивності тунельної печі. Головною метою впровадження подібної системи є забезпечення планових показників виробництва певного визначеного асортименту та його енергоефективності. Таким чином, розглянуто питання побудови ситуаційної системи керування випіканням в тунельній печі конвеєрного типу n -найменувань продукції в умовах як сталого енергозабезпечення, так і під час позапланових або віялових відключень електрики з переходом на альтернативні джерела електрозабезпечення.

Завдяки впровадженню систем автоматичного регулювання теплових режимів, розроблених на основі методів нечіткої логіки (фаззи-логіки), можна зменшити витрати енергії та забезпечити її раціональне використання в умовах нестабільного енергопостачання.

Оптимізація роботи мехатронних модулів живлення та забезпечення рівномірності температурного розподілу дозволять збільшити загальну продуктивність виробництва без втрати якості продукції.

Забезпечення стабільності теплових режимів сприятиме досягненню високих стандартів у виробництві хлібобулочних виробів, лаваша, піци, сандвічів, лазаньї тощо.

Вдосконалення керування тепловими процесами та зменшення теплових втрат сприятимуть збільшенню ресурсу обладнання та зниженню витрат на його обслуговування.

Використання енергетичного аудиту, статистичних методів аналізу та сучасних алгоритмів обробки даних сприятиме гнучкості системи автоматизації та адаптації до умов конкретного виробництва.

Запропоновані алгоритми та модулі автоматизації можуть бути адаптовані для інших типів теплового обладнання, що відкриває можливості їх подальшого застосування в харчовій промисловості.

Таким чином, автоматизація керування тунельними печами дозволяє не лише підвищити стабільність і ефективність роботи в умовах нестабільного енергопостачання, але й сприяє сталому розвитку технологічного процесу.

Список літератури

1. Лорія М. Г., Поркуян О. В., Ананьєв М. В., Целіщев О. Б. Оптимальні налаштування регуляторів промислових систем управління технологічними об'єктами : монографія. Сєвєродонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. 192 с.
2. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 5/3 (47). С. 66–70.
3. Шаруда С. С., Кишенько В. Д. Імітаційне дослідження системи управління технологічними процесами хлібозаводу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2011, № 3. С. 14–16.
4. Швед С. М., Ельперін І. В. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. № 613(60). С. 44–46.
5. Ross, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. England: John Wiley & Sons Ltd., 2004. 628 p
6. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів : монографія; за заг. ред. В. П. Хорольського. Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д. О. 2019. 203 с.

7. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець Чернявський Д.О., 2021. 311 с.
8. Michael B. Histan, David G. Alciatore. Introduction to mechatronics and measurement systems. WCB/McGraw-Hill, 1999. 400 p.
9. Godfrey C. Onwubolu. Mechatronics: principles and applications. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 672 p.
10. Ладанюк А. П., Засць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія. Київ : Видавництво Ліра-К, 2016. 312 с.
11. Papasidero, Davide & Pierucci, Sauro & Manenti, Flavio. (2016). Energy optimization of bread baking process undergoing quality constraints. *Energy*. 116. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.046>.
12. Paton, Joe & Khatir, Zinedine & Thompson, Harvey & Kapur, Nikil & Toropov, Vassili. Thermal energy management in the bread baking industry using a system modelling approach. *Applied Thermal Engineering*. 2013. 53. PP. 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.03.036>.
13. Wilson, Patricia & Clark, Susan & Scott, Charles. Energy Efficiency Optimization In Mechanical Systems: Innovative Approaches In Industrial Applications. *International Journal of Industrial Innovation and Mechanical Engineering*. 2024. 1. PP. 28-32. <https://doi.org/10.61132/ijiime.v1i2.61>.

References

1. Loria, M. H., Porkuian, O. V., Ananiev, M. V., Tselishchev, O. B. (2019). *Optymalni nastroiuvannia rehuliatoriv promyslovykh system upravlinnia tekhnolohichnymy obiektamy* [Optimal tuning of controllers in industrial control systems for technological objects], Severodonetsk, Publishing House of the V. Dahl EUNU. 192 p.
2. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2010). *Intelektualna systema stsenarnoho upravlinnia khlibopekarskym vyrobnytstvom* [Intelligent scenario management system for bakery production], *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], 5/3 (47), 66–70.
3. Sharuda, S. S., Kyshenko, V. D. (2011). *Imitatsiine doslidzhennia systemy upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy khlibozavodu* [Simulation study of the technological process management system of a bread factory], *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu* [Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute], 3, 14–16.
4. Shved, S. M., Elperin, I. V. (2012). *Systemnyi analiz tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva khlibobulochnykh vyrobiv* [System analysis of the technological process of bakery production], *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 613(60), 44–46.
5. Ross, Timothy J. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications*. England, John Wiley & Sons Ltd. 2004. 628 p.
6. Khorolskyi, V. P. and others. (2019). *Intelektualni systemy upravlinnia vyrobnytstvom khlibobulochnykh vyrobiv* [Intelligent management systems for the production of bakery products], Kryvyi Rih, Publisher of FO-P Chernyavskyi D.O. 203 p.
7. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrenykov, V. M. (2021). *Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated control systems for the production of smart food products], Kryvyi Rih, Publisher Chernyavskyi D.O. 311 p.
8. Michael B. Histan, David G. Alciatore. (1999). Introduction to mechatronics and measurement systems. WCB/McGraw-Hill. 400 p.
9. Godfrey C. Onwubolu. (2005). *Mechatronics: principles and applications*. Elsevier Butterworth-Heinemann. 645 p.

10. Ladaniuk, A. P., Zaiets, N. A., Vlasenko, L. O. (2016). *Suchasni tekhnolohii konstruiuvannia system avtomatyzatsii skladnykh ob'ektiv (merezhevi struktury, adaptatsiia, diahnozyka ta prohnozuuvannia)* [Modern technologies for designing automation systems of complex objects (network structures, adaptation, diagnostics, and forecasting)], Kyiv, Lira-K Publishing House. 312 p.
11. Papasidero, Davide & Pierucci, Sauro & Manenti, Flavio. (2016). Energy optimization of bread baking process undergoing quality constraints. *Energy*. 116. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.046>.
12. Paton, Joe & Khatir, Zinedine & Thompson, Harvey & Kapur, Nikil & Toropov, Vassili. (2013). Thermal energy management in the bread baking industry using a system modelling approach. *Applied Thermal Engineering*. 53. 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.03.036>.
13. Wilson, Patricia & Clark, Susan & Scott, Charles. (2024). Energy efficiency optimization in mechanical systems: innovative approaches in industrial applications. *International Journal of Industrial Innovation and Mechanical Engineering*. 1. 28–32. <https://doi.org/10.61132/ijiime.v1i2.61>.

Objective. The aim of this study is to develop solutions for optimizing the thermal regimes of tunnel ovens under electricity supply constraints using mechatronic power modules. This goal is specified through addressing the tasks of ensuring uniform temperature distribution in the baking chamber, increasing the overall productivity of the oven, and reducing total energy consumption. Optimizing the thermal regimes of tunnel ovens will also improve product quality, extend equipment lifespan, and reduce operational costs.

Methods. To achieve the goal of optimizing the thermal regimes of tunnel ovens with mechatronic power modules, a comprehensive approach was applied using modern research methods. These include conducting an energy audit of the current energy consumption state of the ovens with an assessment of costs and savings potential, developing, optimizing, and implementing algorithms for automatic thermal regime regulation based on data collected from thermal sensors and processed using statistical analysis methods.

Results. The article highlights promising results that can significantly improve the technological process of manufacturing bakery products in conveyor-type tunnel ovens. One of the key achievements is the optimization of thermal regimes through automation systems based on fuzzy logic algorithms. Thanks to the objective analysis of the technological process in real-time, these systems ensure stable operation even under unstable electricity supply conditions. The implementation of automation reduces overall energy consumption by rationalizing energy use, ensuring uniform temperature distribution in the baking chamber, and minimizing heat losses. In turn, this positively impacts the quality of the final product, which will be more uniform and meet high quality standards. Furthermore, improving the stability of thermal regimes will enhance the productivity of tunnel ovens, which is critical to meeting the growing demand for bakery products. Notably, the application of mechatronic power modules not only increases energy efficiency but also minimizes operational costs. Optimizing equipment operation extends its lifespan, thereby reducing maintenance and repair costs. Additionally, conducting energy audits and applying modern statistical methods for data analysis enable the development of adaptive solutions tailored to the specific needs of each production process. The results obtained open up opportunities for scaling the proposed solutions to other types of thermal equipment, which could be beneficial for the food industry as a whole. Thus, the automation of tunnel ovens represents a significant step toward enhancing the technological, economic, and environmental efficiency of production, contributing to the sustainable development of the industry even under energy instability.

Keywords: tunnel oven, power supply, thermal regime, mathematical modeling, optimization, mechatronic module, automation.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2024-49-2-65-73

УДК 637.146.34.02:681.5(045)

Омельченко О. В., канд. техн. наук
Цвіркун Л. О., канд. пед. наук
Гончаренко В. А., канд. техн. наук
Пестушко Ю. Є., здобувач ОС магістра
Буньков В. В., здобувач ОС бакалавра
Корінь К. О., здобувач ОС бакалавра

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЙОГУРТУ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

UDC УДК 637.146.34.02:681.5(045)

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences
Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences
Goncharenko V. A., PhD in Engineering sciences
Pestushko Yu. E., a graduate of a master's degree
Bunkov V. V., a graduate of a bachelor degree
Koryn K. O., a graduate of a bachelor degree

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rig, Ukraine, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua

IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR PRODUCING YOGHURT BY MEANS OF AUTOMATION

Мета. Метою статті є обґрунтування доцільності використання технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту задля покращення якості виробництва йогуртів.

Методи. У роботі для дослідження йогуртів на кислотність рН застосовано: електрохімічний метод, який використовує електроди для вимірювання значення рН та колориметричний метод, заснований на зміні кольору під час передачі певного значення за допомогою рН-папірців або тест-смужок, які змінюють колір при різних значеннях рН, що дає уявлення про рН розчину.

Результати. Зазначено, що йогурт – це молочний продукт, який виробляється шляхом бактеріального бродіння молока. Він має кремову текстуру та гострий смак. Усі види йогурту відомі своєю користю для здоров'я та є джерелом білка, кальцію та пробіотиків. Звичайний йогурт є чудовим джерелом пробіотиків, які можуть допомогти підтримати здоров'я та підвищити функцію імунної системи. Крім того, він містить багато інших необхідних вітамінів і мінералів. На основі аналізу, констатовано, що використання передових технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту може значно покращити якість сировини. Джерелом інформації, управління, моніторингу та оцінки якості в основному є датчики: контактні та безконтактні. Вважається за доцільне на кожному великому етапі виробництва йогурту реалізовувати часткову або повну автоматизацію процесу. Сконцентровано увагу на тому, що кислотність – важливий показник для споживачів, оскільки впливає на смак йогурту, роблячи його терпким. Вимірювання значення

pH сировини можливе двома способами: електрохімічним методом, який використовує електроди для вимірювання значення pH та встановлює досить точні отримані значення; колориметричним методом, який заснований на зміні кольору при передачі певного значення за допомогою pH-папірців або тест-смужок. Здійснено дослідження йогуртів на кислотність pH двома методами: електрохімічним та колориметричним. Досліджувалися два зразки йогурту: зразок №1 – йогурт без наповнювача, зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем. При застосуванні колориметричного методу було отримано результати: зразок №1 – йогурт без наповнювача має значення кислотності pH 4,2 це свідчить про те, що він є досить кислим. Зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем має значення кислотності pH 4,65 це свідчить про те, що зразок №2 має меншу кислотність. При застосуванні pH-метра для вимірювання кислотності було отримано результати: зразок №1 – йогурт без наповнювача має значення кислотності pH 4,4, зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем має значення кислотності pH 4,75. Результати отримані за допомогою pH-метра є більш точнішими, ніж результати отримані колориметричним методом. Кореляція становить приблизно 0,02. Інтерпретовано результати дослідження.

Ключові слова: комп'ютерний зір, штучний інтелект, автоматизація, йогурт, кислотність, електрохімічний метод, колориметричний метод, якість сировини.

Постановка проблеми. Йогурт – це кисломолочний продукт з консистенцією схожою на заварний крем, що відрізняє його від інших кисломолочних продуктів. Вважається, що йогурт виник у Месопотамії тисячі років тому. Докази показали, що близько 5000 р. до н.е. одомашнене козяче та овече молоко зберігалося в баштанних культурах у теплому кліматі та утворювало сир, який був ранньою формою йогурту, виробленого природною бактерією. Лише в останні 30-40 років йогурт став популярним у всьому світі [1]. Йогурт – це універсальний і смачний молочний продукт, який має безліч переваг для здоров'я. Завдяки своїй кремовій текстурі та гострому смаку йогурт став основним продуктом у багатьох домогосподарствах.

Йогурт – це молочний продукт, який виготовляється шляхом бактеріального бродіння молока та має кремову текстуру та гострий смак. Усі види йогурту відомі своєю користю для здоров'я та є джерелом білка, кальцію та пробіотиків. У наш час йогурт є важливим молочним продуктом у всьому світі. Він виступає носієм пробіотиків завдяки наявності живих штамів бактерій. Його вживають в їжу протягом тисячоліть і часто використовують як частину їжі або закуски, а також як компонент соусів і десертів. Кисломолочна сировина містить корисні бактерії та може функціонувати як пробіотик, забезпечуючи різноманітні переваги для здоров'я [1, 2, 3]. Також йогурт має багато переваг для здоров'я, що робить його цінним і універсальним продуктом. Він багатий кальцієм, мінералами, що необхідні для міцності кісток. Окрім підтримки загального здоров'я кісток, кальцій допомагає правильному функціонуванню м'язів і нервів. Пробіотики корисні для травної системи, оскільки вони допомагають розщеплювати їжу та врівноважувати рівень шкідливих бактерій у кишечнику. Молочна кислота, що виробляється цими пробіотичними культурами, допомагає підтримувати здоров'я травної системи та ідеальний баланс pH. Тому, удосконалення обладнання для виготовлення йогурту із використанням технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту може сприяти покращенню якості молочної сировини, що є необхідним для безпечного споживання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Молочна промисловість вважається однією з найбільш динамічних галузей харчової промисловості. Одним з найпоживчих продуктів є йогурт. Існує безліч видів йогурту, які задовольняють індивідуальні потреби та вподобання споживачів. Йогуртова продукція класифікується за різними категоріями на основі різних факторів, включаючи тип використовуваного молока, вміст жиру, процес виробництва, смак, наявність пробіотиків і рівень цукру [4, 5, 6]. У світі виробляється багато різних видів йогуртів, які поділяються на чотири категорії, виходячи з фізичних характеристик продукту:

- йогурти (рідка/в'язка фаза);
- концентровані/проціджені йогурти (напівтверда фаза);
- заморожені йогурти (тверда фаза);
- сухі йогурти (порошкова фаза).

Йогурт виготовляється шляхом бактеріального бродіння молока та має кремову текстуру і гострий смак. Усі види йогурту відомі своєю користю для здоров'я, великим вмістом білка, кальцію та пробіотиків. Звичайний йогурт є чудовим джерелом пробіотиків, які можуть допомогти підтримати здоров'я кишечника та підвищити функцію імунної системи. Крім того, він містить багато інших необхідних вітамінів і мінералів.

Як відомо, молочна галузь складається з багатьох технологічних процесів, які є дуже складними та вимагають ретельного та якісного їх виконання. Тому дуже важливо використовувати сучасні засоби автоматизації для підвищення ефективності виробництва та покращення якості готової сировини. В умовах сьогодення йогуртова продукція повинна відповідати все більш високим вимогам до якості та безпеки, застосовуючи нові технології задля досягнення конкурентоспроможності на споживчому ринку.

У процесі виробництва йогурту спостерігається помітно зростаюча роль автоматизованих систем управління, що використовуються для вимірювання, контролю та моніторингу якості продукції на різних етапах виробництва. Застосування технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту сприятиме покращенню якості молочної сировини, проте потребує розвитку таких напрямів діяльності [5]:

- застосування інформаційних, експертних та інтелектуальних систем в молочній промисловості;
- автоматизація виробничих процесів за рахунок використання передових технологій, методів і технічних засобів автоматизації;
- залучення штучного інтелекту, наприклад, технології комп'ютерного зору для оцінки якості йогурту;
- удосконалення взаємодії людино-машинної системи;
- удосконалення режимів роботи технологічного обладнання задіяного у виробництві йогурту.

До основних операцій, які входять до складу технологічного ланцюга у процесі виготовлення йогурту, можна віднести: обробку, гомогенізацію, пастеризацію, ферментацію, розлив, пакування, зберігання. Складний технологічний процес вимагає врахування фізичних та мікробіологічних властивостей сировини; застосування засобів автоматизації; здійснення контрольних-вимірювальних операцій; моніторинг, а саме отримання точних даних з датчиків для оцінки якості сировини на різних етапах виготовлення. Слід зазначити, що такі параметри технологічного процесу, як температура, вологість, тиск, якісний і кількісний склад молочної сировини виявляються різними датчиками по відношенню до вхідного сигналу. Так, наприклад, електронний язик і електронний ніс застосовуються для аналізу зорових, спектральних характеристик йогурту [5, 7, 8]. П'єзометричні датчики використовуються для оцінки якості молока і молочної сировини, рН-метр для визначення кислотності. За допомогою датчиків можна отримати точні дані для передачі їх у систему керування технологічним процесом. Передові технології комп'ютерного зору та штучного інтелекту мають великий потенціал під час збору та аналізу інформації щодо виготовлення молочної сировини за короткий проміжок часу з високою точністю та якістю. Датчики генерують значну кількість даних шляхом їх збору з можливістю прогнозування та отримання даних в реальному часі. Тому застосування засобів автоматизації може не лише покращити якість йогуртової сировини, а й підвищити потужність промислового виробництва.

Мета статті – обґрунтування доцільності використання технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту задля покращення якості виробництва йогуртів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Молочна кислота, що виробляється у процесі бродіння відіграє важливу роль у виробництві йогурту та впливає на якісні

характеристики готової сировини. Кислотність – важливий показник для споживачів, оскільки впливає на смак йогурту, роблячи його терпким. Тому вимірювання рН йогурту стає важливим параметром під час виготовлення, а також під час оцінки якості бажаного продукту. Виміряти значення рН йогурту можна двома способами [9]:

1. Електрохімічний – метод використовує електроди для вимірювання значення рН та дає досить точне значення.

2. Колориметричний – метод заснований на зміні кольору при передачі певного значення. Використовувати зміни кольору потрібно для того, щоб отримати орієнтовне значення рН розчину. Виробники виготовляють спеціальні рН-папірці або тест-смужки, які змінюють колір при різних значеннях рН, що дає уявлення про рН розчину.

Розглянуті методи зазвичай використовуються для визначення кислотності сировини. Для отримання точних значень рН з міркувань безпеки харчових продуктів слід використовувати електрохімічний метод. Однак, якщо необхідно отримати приблизний діапазон кислотності можна застосувати колориметричний метод. Основні показники методів визначення кислотності наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Методи визначення кислотності

Показники	Електрохімічний метод	Колориметричний метод
Собівартість	дорожчий	дешевший
Обслуговування	потребує регулярного калібрування	одноразове використання
Точність	надає фіксоване число (наприклад, 4.5)	вимагає порівняння кольору смужки з набором еталонних кольорів, може бути суб'єктивним
Умови застосування	існує багато різних типів	часто потрібна рідина для занурення
Вплив на колір	не впливає на колір	може спотворювати показання

Для визначення кислотності використовують стаціонарний рН метр, який представлено на рисунку 1. Технічні характеристики рН-метра наведено у таблиці 2.

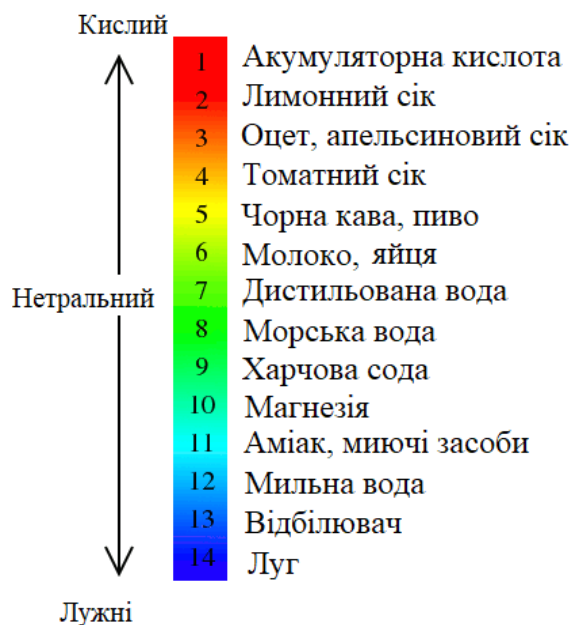
Зміна кольору завжди відбувається в одному і тому ж діапазоні рН. Наприклад, червонокочанна капуста завжди буде рожевою при низьких значеннях рН і синьою або зеленою при високих. Куркума має жовтий колір для нижчих значень рН і стає червоною при високих [9]. Кольори з такою властивістю називаються індикаторами рН. Їх можна використовувати в якості індикатора для значення рН. Змінюючи показники, які присутні в тестовому папері, можна виміряти асортимент різної продукції, що має широкий діапазон значень рН (від 1 до 14). Однак, за допомогою цього методу не можна отримати такі ж точні показники, як при електрохімічному методі. На рисунку 2 наведено шкалу рН, яка зазвичай має значення від 0 або 1 до 14 для деяких продуктів.



Рисунок 1 – Стационарний рН-метр з рН-електродом

Таблиця 2 – Технічні характеристики рН-метра

Найменування показника	Граничні значення
Діапазон рН	-2,000...16,000 (± 1000 мВ)
Роздільна здатність рН	0,01; 0,001 (0,1 мВ)
Точність (25°C) рН	$\pm 0,2$ мВ, $\pm 0,01$ рН, $\pm 0,002$ рН
Калібрування рН	3-точкова, 5-точкова
Буферні розчини	1.68, 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01, 12.45; два користувацькі буфери
Температурна компенсація рН	Автоматична
Діапазон температур	від -20 до +120°C
Точність температури	$\pm 0,2^\circ\text{C}$

Рисунок 2 – Шкала рН для деяких продуктів
(від 0 або 1 до 14)

Дослідження спрямоване на перевірку кислотності рН йогурту двома методами: електрохімічним та колOMETричним.

1. Досліджуємо кислотність йогурту коліметричним методом. Для проведення даного досліду необхідні зразки йогурту та смужки рН-паперу. рН папір – це особливий тип паперу, який змінює колір залежно від того, наскільки кислотним є розчин. У комплекті з папером йде окрема таблиця кольорів, яка дозволяє визначити рН за кольором.

Переходимо до проведення дослідження:

- помістимо в ємності невелику кількість йогурту для аналізу (сировина повинна мати кімнатну температуру);

- зануримо смужку в рідину на декілька секунд, колір відразу змінюється і тому необхідно приступати до наступного кроку;

- порівнюємо колір отриманої смужки з таблицею кольорів, яку виробник надав разом зі смужками для визначення значення рН. Як тільки колір на смужці зміниться, порівнюємо його з відповідною діаграмою. Знайдемо колір, який найближче збігається з тим, що бачимо на смужці (рН написаний поруч із цим кольором). Порівняння кольорів має відбуватися негайно, тому, що колір з часом потьмяніє і результати згодом можуть бути недостовірними.

Для визначення кислотності йогурту використовувалися універсальні тестові смужки з діапазоном від 0 до 14. Кожна окрема смужка паперу містила 4 кольорових квадрата. Кожен з цих квадратів буде змінювати колір в залежності від значення рН. Рівень рН йогурту дає уявлення про те, наскільки кислим є певний тип йогурту. Чим нижче число рН тим кисліша сировина, причому 7 означає «нейтральний».

Досліджувалися два зразки йогурту:

Зразок №1 – йогурт без наповнювача.

Зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем.

Протестовані на кислотність зразки йогурту наведено на рисунку 3.



Зразок №1 – йогурт без наповнювача



Зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем

Рисунок 3 – Протестовані на кислотність зразки йогурту

Результати свідчать, що всі йогурти відносяться до кислих продуктів, які мають діапазон кислотності від 3,7 до 4,8. Зразок №1 – йогурт без наповнювача має значення кислотності рН 4,2 це свідчить про те, що він є досить кислим. Зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем має значення кислотності рН 4,65 це свідчить про те, що зразок №2 має меншу кислотність.

2. Досліджуємо кислотність йогурту за допомогою рН-метра [10]. Для цього застосуємо рН-метр для вимірювання кислотності 0.00-14рН, який наведено на рисунку 4. Технічні характеристики наведено у таблиці 3. Для проведення дослідження зануримо обладнання в зразки йогурту №1 та №2.

Результати свідчать, що зразок №1 – йогурт без наповнювача має значення кислотності рН 4,4 це свідчить про те, що він є досить кислим. Зразок №2 – йогурт з фруктовим

наповнювачем має значення кислотності рН 4,75 це свідчить про те, що зразок №2 має меншу кислотність. Результати отримані за допомогою рН-метра є більш точнішими, ніж результати отримані колOMETричним методом. Кореляція становить приблизно 0,02.



Таблиця 3 – Технічні характеристики рН-метра

Показники	Характеристики
Діапазон виміру	0.00 – 14.00 рН
Крок виміру	0,01 рН
Точність	рН ± 0.01
Робоча температура	0-60°C
Живлення	від 2 батарейок-таблеток LR44 (вже встановлені)
Вага	50 г
Комплектація	РН-метр, 3 пакетики з порошком для калібрування, пластиковий кейс для зберігання, інструкція англійською мовою

Рисунок 4 – рН-метр

Висновки. Зазначено, що йогурт – це молочний продукт, який виготовляється шляхом бактеріального бродіння молока та має кремову текстуру та гострий смак. Усі види йогурту відомі своєю користю для здоров'я та є джерелом білка, кальцію та пробіотиків. Звичайний йогурт є чудовим джерелом пробіотиків, які можуть допомогти підтримати здоров'я та підвищити функцію імунної системи. Крім того, він містить багато інших необхідних вітамінів і мінералів.

На основі аналізу можна констатувати, що удосконалення обладнання для виготовлення йогурту засобами автоматизації може сприяти покращенню якості молочної сировини, що є необхідним для безпечного споживання. Так, наприклад, електронний язик і електронний ніс застосовуються для аналізу зорових, спектральних характеристик йогурту. П'єзометричні датчики використовуються для оцінки якості молока і молочної сировини, рН-метр для визначення кислотності. За допомогою датчиків можна отримати точні дані для передачі їх у систему керування технологічним процесом. Передові технології комп'ютерного зору та штучного інтелекту мають великий потенціал під час збору та аналізу інформації щодо виготовлення йогурту за короткий проміжок часу з високою точністю та якістю.

Вважається, що кислотність – важливий показник для споживачів, оскільки кислотність впливає на смак йогурту, роблячи його терпким. Виміряти значення рН сировини можна двома способами: електрохімічним методом, який використовує електроди для вимірювання значення рН і він дає досить точні значення та колориметричним методом, який заснований на зміні кольору при передачі певного значення.

Здійснено дослідження йогуртів на кислотність рН. Дослідження спрямоване на перевірку кислотності рН йогурту двома методами: електрохімічним та колOMETричним. Досліджувалися два зразка йогурту: зразок №1 – йогурт без наповнювача, зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем. При застосуванні колOMETричного методу було отримано результати: зразок №1 – йогурт без наповнювача має значення кислотності рН 4,2 це свідчить про те, що він є досить кислим. Зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем має значення кислотності рН 4,65 це свідчить про те, що зразок №2 має меншу кислотність. При застосуванні рН-метра для вимірювання кислотності 0.00-14рН було отримано результати: зразок №1 – йогурт без наповнювача має значення кислотності рН 4,4, зразок №2 – йогурт з фруктовим наповнювачем має значення кислотності рН 4,75. Результати отримані за допомогою РН-метра є більш точнішими, ніж результати отримані колOMETричним методом. Кореляція становить приблизно 0,02. Інтерпретовано результати дослідження.

Список літератури

1. Історія, користь і види. Усе, що ви хотіли знати про йогурт. Режим доступу: <https://life.nv.ua/ukr/food-drink/yogurt-korist-ta-istoriya-chim-korisniy-greckiy-yogurt-yak-yogurt-dopomagaye-shudnuti-50259990.html>.
2. Nutrition of different yogurt types. URL: <https://smoothiegains.com/nutrition-of-different-yogurt-types-most-protein>.
3. Користь і шкода йогурту. Режим доступу: <https://goodfood.ua/blog/korist-i-shkoda-yogurtu/>.
4. Соломон А.М., Новгородська Н.В., Бондар М.М. Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2019. 155 с.
5. Analysis of information processes in the production of yogurt. URL: <https://www.researchgate.net/publication/303898178>.
6. Food production scheduling: a thorough comparative study between optimization and rule-based approaches. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/7/1950>.
7. Yanmei Cui, Xupeng Zhang. Filling process optimization through modifications in machine settings. Processes, 2022. Vol 10. P. 2–15.
8. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості. К.: Аграрна освіта, 2015. 224 с.
9. How to measure the pH of food products using pH-strips. URL: <https://foodcrumbles.com/how-to-measure-the-ph-of-food-products-using-ph-strips/>.
10. Практичний посібник як правильно працювати з рН метром. Режим доступу: <https://atku.org.ua/praktichniy-posibnik-yak-pravilno-pracyuvati-z-rn-metrom.html>.

References

1. *Istoriya, dosyahnennya i vydy. Use, shcho vy mozhet znaty pro yohurt* [History, benefits and types. Everything you wanted to know about yogurt]. Access mode: <https://life.nv.ua/ukr/food-drink/yogurt-korist-ta-istoriya-chim-korisniy-greckiy-yogurt-yak-yogurt-dopomagaye-shudnuti-50259990.html>
2. *Pozhyvnyist' riznykh vydiv yohurtu* [Nutrition of different yogurt types]. Access mode: <https://smoothiegains.com/nutrition-of-different-yogurt-types-most-protein>.
3. *Korystist' i shkoda yohurtu* [Benefits and harm of yogurt]. Access mode: <https://goodfood.ua/blog/korist-i-shkoda-yogurtu/>.
4. Solomon, A.M., Novhorods'ka, N.V., Bondar, M.M. (2019). *Kyslomolochni deserty z podovzhenym terminom zberihannya* [Sour milk desserts with extended shelf life]. Vinnytsia: RVV VNAU, 155 p.
5. *Analiz informatsiynykh protsesiv u vyrobnytstvi yohurtiv* [Analysis of information processes in the production of yogurt]. Access mode: <https://www.researchgate.net/publication/303898178>.
6. *Planuvannya vyrobnytstva kharchovykh produktiv: retel'ne porivnyal'ne doslidzhennya pidkhodiv optymizatsiyi ta pravyl* [Food production scheduling: a thorough comparative study between optimization and rule-based approaches]. Access mode: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/7/1950>.
7. Yanmei, Cui, Xupeng, Zhang (2022). *Optymizatsiya protsesu rozlyvu shlyakhom zminy nalashtuvan' mashyny* [Filling process optimization through modifications in machine settings]. *Protsesy* [Processes]. Vol 10. P. 2–15.
8. Ladanyuk, A.P, Trehub, V.H., El'perin, I.V. (2015). *Avtomatyizatsiya tekhnolohichnykh protsesiv i vyrobnytstvo kharchovoyi promyslovosti* [Automation of technological processes and productions of the food industry]. Kyiv: Agrarian education, 224 c.
9. *Yak vymiryaty pH kharchovykh produktiv za dopomohoyu pH-smuzhok*. [How to measure the pH of food products (using pH-strips)]. Access mode: <https://foodcrumbles.com/how-to-measure-the-ph-of-food-products-using-ph-strips/>.

10. *Praktychnyy posibnyk yak pravyl'no pratsyuvaty pH metrom* [A practical guide on how to properly work with a pH meter]. Access mode: <https://atku.org.ua/praktichniy-posibnik-yak-pravilno-pracyuvati-z-rn-metrom.html>.

Objective. The aim of the article is to substantiate the feasibility of using computer vision and artificial intelligence technologies to improve the quality of yoghurt production.

Methods. In the work for the study of yoghurts for acidity pH, the following were used: electrochemical method, using electrodes to measure the pH value and colorimetric method, based on the change in color when transmitting a certain value using pH papers or test strips that change color at different values. pH, giving an idea of the pH of the solution.

Results. It is noted that yogurt is a dairy product produced by bacterial fermentation of milk. It has a creamy texture and a tangy taste. All types of yogurt are known for their health benefits and are a source of protein, calcium, and probiotics. Regular yogurt is an excellent source of probiotics, which can help maintain health and boost immune system function. In addition, it contains many other essential vitamins and minerals. Based on the analysis, it was found that the use of advanced computer vision and artificial intelligence technologies can significantly improve the quality of raw materials. The source of information, control, monitoring and quality assessment are mainly sensors: contact and contactless. It is considered advisable to implement partial or full automation of the process at each major stage of yogurt production. Attention is focused on the fact that acidity is an important indicator for consumers, since it affects the taste of yogurt, making it tart. Measuring the pH value of raw materials is possible in two ways: an electrochemical method using electrodes to measure the pH value and establish fairly accurate values obtained; colorimetric method, which is based on the change in color when transmitting a certain value using pH papers or test strips. The study of yoghurts for acidity pH was conducted using two methods: electrochemical and colorimetric. Two samples of yoghurt were studied: sample №1 – yoghurt without filler, sample №2 – yoghurt with fruit filler. When using the colorimetric method, the following results were obtained: sample №1 – yoghurt without filler has an acidity value of pH 4.2, which indicates that it is quite acidic. Sample №2 – yoghurt with fruit filler has an acidity value of pH 4.65, which indicates that sample №2 has less acidity. When using a pH meter to measure acidity, the following results were obtained: sample No. 1 – yoghurt without filler has an acidity value of pH 4.4, sample № 2 – yoghurt with fruit filler has an acidity value of pH 4.75. The results obtained with the pH meter are more accurate than the results obtained by the collometric method. The correlation is approximately 0.02. The results of the study are interpreted.

Key words: computer vision, artificial intelligence, automation, yogurt, acidity, electrochemical method, colorimetric method, raw material quality, dairy raw materials.

ЗМІСТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Слащева А. В., Боднарук О. А., Закусило Т. І, Деньгуб А. Д. ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМОСТІЙКОЇ НАЧИНКИ БІОПРОТЕКТОРНОЇ ДІЇ ДЛЯ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ.....	5
Гніщевич В. А., Рубанович К. Є. ТЕХНОЛОГІЯ ДЕСЕРТУ НА ОСНОВІ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СУМІШІ	13

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Юдіна Т. І., Безрученко О. М., Серенко А. А. ВПЛИВ ЦУКРУ НА СТАН ВУГЛЕВОДНО-АМІЛАЗНОГО КОМПЛЕКСУ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ КЕКСІВ.....	23
Горайнова Ю. А., Сімакова О. О., Кісліченко В. М., Бальвас Д. Г., Гоманкова С. Ю. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ХЛІБА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ДОБАВКАМИ КІВІ, ТОПІНАМБУРА ТА ЦИБУЛІ-СЛИЗУНА ЗА ПРИНЦИПАМИ КВАЛІМЕТРІЇ	31
Сімакова О. О., Горайнова Ю. А., Боднарук О. А., Кібітова О. А., Соловйова К. С. КИСЛОТНО-ЛУЖНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІОФЛАВОНІДІВ ГОРОБИНИ ЗВИЧАЙНОЇ...	40

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Цвіркун Л. О., Омельченко О. В., Шляхов М. В., Гаврилов О. О., Шилін А. С. ДОСЛІДЖЕННЯ БОРОШНА ЗА ДОПОМОГОЮ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЛЬОРУ	47
Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Трунов В. Ю. АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ТУНЕЛЬНИМИ ПЕЧАМИ В УМОВАХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ	55

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Гончаренко В. А., Пестушко Ю. Є., Буньков В. В., Корінь К. О. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЙОГУРТУ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	65
--	----

CONTENTS

MODERN FOOD TECHNOLOGIES

Slashcheva A. V., Bodnaruk O. A., Zakusilo T. I., Dengub A. D. TECHNOLOGY OF THERMO-RESISTANT FILLING WITH BIOPROTECTIVE ACTION FOR CONFECTIONERY PRODUCTS	5
Gnitsevykh V., Rubanovych K. DESSERT TECHNOLOGY BASED ON FRUIT AND VEGETABLE COMPOSITION MIXTURE	13

CHEMICAL, PHYSICAL, MATHEMATICAL METHODS OF QUALITY RESEARCH OF FOOD PRODUCTS

Yudina T. I., Bezruchenko O. M., Serenko A. A. THE INFLUENCE OF SUGAR ON THE STATE OF THE CARBOHYDRATE-AMYLASE COMPLEX OF GLUTEN-FREE CAKES	23
Goriainova Iu. A., Simakova O. O., Kislichenko V. M., Balvas D. G., Homankova S. Yu. EVALUATION OF THE QUALITY INDICATORS OF FUNCTIONAL PURPOSE BREAD WITH THE ADDITIONS OF KIWI, JERUSALEM, AND SLIZUNA ONION ACCORDING TO THE PRINCIPLES OF QUALIMETRY	31
Simakova O. O., Goriainova Iu. A., Bodnaruk O. A., Kibitova O. A., Soloviova K. S. ACID-ALKALINE TRANSFORMATIONS OF BIOFLAVONOIDS THE MOUNTAIN ASH ..	40

IMPROVEMENT OF PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD PRODUCTION

Tsvirkun L. O., Omelchenko O. V., Shlyakhov M. V., Gavrilov O. O., Shilin A. S. FLOUR TESTING WITH COLOUR MEASURING EQUIPMENT	47
Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Trunov V. Yu. AUTOMATION OF TUNNEL FURNACE CONTROL IN CONDITIONS OF POWER SYSTEM INSTABILITY	55

DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE HIGH-EFFICIENT FOOD INDUSTRY EQUIPMENT

Omelchenko O. V., Tsvirkun L. A., Goncharenko V. A., Pestushko Yu. E., Bunkov V. V., Koryn K. O. IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR PRODUCING YOGHURT BY MEANS OF AUTOMATION	65
--	----

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Наукове видання

ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Тематичний збірник наукових праць

№ 2 (49) 2024

Українською та англійською мовами

Підписано до друку 19.12.2024 р. Формат 60х84/8. Папір офсетний.
Гарнітура «Times New Roman». Друк — лазерний.
Ум. друк. арк. 2,88. Обл.-вид. арк. 3,04.
Наклад 50 прим.

Видавець Чернявський Д.О.
пр. 200-річчя Кривого Рогу, 17, (зуп. «Спаська»),
тел.: (067) 46-46-102
Свідоцтво ДК 3449 від 02.04.2009 р.

 [oktanua](#)  [oktanua](#)  oktanprint@ukr.net

 +38 (067) 46-46-102 

 oktanprint.com.ua; oktanshop.com; oktanprint.cz

ДРУКАРНЯ  ОКТАН-ПРИНТ