

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

№ 1 (44) 2022

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
2022

Редакційна колегія:

Головний редактор — В. П. Хорольський
Заступник головного редактора — Р. П. Никифоров
Відповідальний редактор серії — Д. В. Акіндєєв
Відповідальний секретар серії — А. В. Слащева

Редакційна колегія серії:

Віннікова Л. Г., д-р техн. наук (Одеський національний університет харчових технологій); *Гейєр Г. В.*, канд. техн. наук, д-р техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); *Гніцевич 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 (Державний біотехнологічний 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); *Покотило О. С.*, д-р біол. наук (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя); *Погребняк В. Г.*, д-р техн. наук (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу); *Попова С. Ю.*, канд. техн. наук (Національний університет біоресурсів і природокористування України); *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); *Возняк Юрій*, канд. фіз.-мат. наук (Центр молекулярних і макромoleкулярних досліджень Польської Академії наук); *Хамісабаді Джавад*, канд. наук із промислового менеджменту (Факультет інженерії та менеджменту, Ісламський університет Азада, Тегеран, Іран).

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 № 13 від 30.06.2022 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, 2022

ISSN 2079-4827

Ministry of Education and Science of Ukraine
Mykhailo Tuhon-Baranovskyi Donetsk
National University of Economics and Trade

FOOD PRODUCTION EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES

Thematic collection of scientific works

No 1 (44) 2022

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
2022

Editorial board:

Editor in chief — V. P. Khorolskyi
Deputy editor in chief — R. P. Nykyforov
Executive editor of series — D. V. Akindiev
Executive secretary of series — A. V. Slashcheva

Editorial board of series:

Deynichenko G. V., Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Gnitsevych V. A.*, Grand PhD in Engineering sciences (State University of Trade and Economics); *Grinchenko O. O.*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Heiier H. V.*, Grand PhD in Economy sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Khomych H. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Poltava University of Economics and Trade); *Khorolskyi V. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Zolotukhina Inna*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Mykhailov V. M.*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Nykyforov R. P.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Omelchenko O. V.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Pogrebnyak V. G.*, Grand PhD in Engineering sciences (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas); *Pokotylo O. S.*, Grand PhD in Biological sciences (Ternopil Ivan Puluj National Technical University); *Popova S. Yu.*, PhD in Engineering sciences (National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine); *Priss O. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (Tavria State Agrotechnological University); *Pyvovarov P. P.*, Grand PhD in Engineering sciences (State Biotechnological University); *Slashcheva A. V.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Simakova O. O.*, PhD in Engineering sciences (Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade); *Stadnyk I. Ya.*, Grand PhD in Engineering sciences (Ternopil Ivan Puluj National Technical University); *Vinnikova L. G.*, Grand PhD in Engineering sciences (Odessa National Academy of Food Technologies); *Yudina T. I.*, Grand PhD in Engineering sciences (State University of Trade and Economics); *Vozniak Yurii*, PhD in Physico-mathematical sciences (Center for Molecular and Macromolecular Studies, Polish Academy of Sciences), *Khamisabadi Javad*, PhD in industrial management (Faculty of Engineering & Management, Islamic Azad university, Tehran, Iran).

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 № 13181-2065ПП dated July 25, 2007.

Founder and editor Mykhailo Tuhan-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 Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade (transaction No. 13 dated 30.06.2022).

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 Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade, 2022

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-5-13

UDC 664.5:664.87

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

*Gnitsevych V. A., Grand PhD of Engineering Science,
Professor²*

Bodnaruk O. A., Assistant Professor¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua.

² State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine, e-mail: flamber1965@gmail.com.

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MARMELOD TECHNOLOGY BASED ON PUMPKIN MASH AND LIGHTENED CURRENT WHEY

УДК 664.5:664.82

Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент¹

Гніцевич В. А., д-р техн. наук, професор²

Боднарук О. А., асистент¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: slashcheva@donnuet.edu.ua.

² Державний торговельно-економічний університет (м. Київ, Україна), e-mail: flamber1965@gmail.com.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МАРМЕЛАДУ НА ОСНОВІ ПЮРЕ З ГАРБУЗА ТА ОСВІТЛЕНОЇ ПІДСИРНОЇ СИРОВАТКИ

Objective. *Objective of the article is to develop the technology and recipe of marmalade based on pumpkin puree and clarified whey and the study of organoleptic characteristics at a certain shelf life.*

Methods. *The paper uses standard generally accepted and special research methods that ensure the implementation of the tasks. Sampling was carried out in accordance with the requirements of DSTU ISO 874-2002, preparation of samples for laboratory analysis — in accordance with DSTU 7040: 2009. Practical testing of recipes and technology was carried out in the technological laboratory of DonNUET.*

Results. *The improvement of the recipe composition and quality of marmalade with the use of natural raw materials — pumpkin puree has been studied. The inclusion of pumpkin puree in the recipe will help to obtain functional marmalade. The article highlights the results of the study of organoleptic parameters. The positive effect of marmalade is due to the mutual complex influence of all components and their quantity. The main task of improving the quality of marmalade is the use of natural raw materials, reducing sugar content and increasing the biological value of finished products.*

We researched fruit marmalade, which is based on pumpkin puree and clarified whey. The literature available to us does not establish the use of pumpkin as the main raw material in the production of marmalade. Given the yield, availability, widespread distribution of this vegetable in Ukraine, as well as information about the nutritional and biological value of pumpkin, we consider it appropriate to use pumpkin for marmalade production. Based on research, it can be argued that the use of pumpkin puree for marmalade production will expand the range of marmalade and increase the biological value of finished products. The inclusion of pumpkin puree in the recipe will help to obtain functional marmalade. The positive effect of marmalade is due to the mutual complex influence of all components and their quantity.

Key words: *pumpkin, clarified curd whey, marmalade, recipe, technology, organoleptic characteristics, vitamins, pectin.*

Надійшла до редакції 25.03.2022 р. © А. В. Слащева, В. А. Гніцевич, О. А. Боднарук, 2022

Formulation of the problem. The concept of healthy eating involves the development and implementation of products containing natural ingredients. Not the least role in the human diet belongs to confectionery, they help improve mood, increase mental activity and saturate the body with carbohydrates.

Jelly marmalade is in great demand among the population, especially among children, due to its pleasant taste and appearance. Usually, the bright color and pleasant taste of the products indicates the presence in their composition of synthetic dyes and flavors, the use of which leads only to negative consequences [1].

According to the UK Food Standards Agency, “Marmalade is a mixture, brought to a suitable gel-like consistency, of water, sugar and fruit pulp, fruit puree, fruit juice, fruit peel or aqueous fruit extract, or any combination of these, used for every 1000 g of finished product, at least 200 g of fruit and berry raw materials, of which at least 75 g is obtained from the endocarp” [2].

In Germany, historically, marmalade is a sweet smooth product made from sugar and boiled fruit, regardless of the origin of the fruit, was commonly known as “Konfitüre” [3].

The composition of marmalade in Europe is controlled by a European Union directive, which prescribes the minimum amount of hard fruit and sugar required for various categories. Production consists of mixing the ingredients, raising the temperature and evaporating to the correct soluble solids content either at 100 °C at atmospheric pressure or up to 60 °C under vacuum. Vacuum boiling prevents heat damage, caramelization and loss of fruit volatiles, but provides additional pasteurization [4]. In Ukraine, marmalade is a solid jelly-like product made from fruit juices or decoctions and sugar with the addition of gelling agents [5].

The market for functional products today is a dynamic and specific segment of production activity that requires active and qualified personnel capable of effectively and quickly bringing a fundamentally new and useful product to the market [6, 7]. The segment of sugary confectionery products in Ukraine is the most traditional and therefore more oriented to the domestic market. But it is in it that new niches and segments appear and develop, formed under the influence of new trends.

Today, more and more “healthy” confectionery products are becoming more and more popular, which take into account the needs of consumers seeking to lead a healthy lifestyle, including for children and adolescents [8].

Therefore, the urgent problem today is the development of new types of these products using natural plant ingredients in order to expand the range, increase biological value and create competitive products in the market.

Analysis of recent research and publications. Currently, the domestic market offers a wide range of herbal supplements from fruit and non-traditional medicinal raw materials (purees, pastes, concentrated juices, powders), which can be used as dyes and to increase the biological value of jelly marmalade. However, it should be noted that the production of most of these additives involves complex technological processing of raw materials, which leads to the loss of dyes and nutrients: vitamins, dietary fiber, organic acids, glycosides and more.

A significant advantage among herbal supplements are those that have a high coloring ability. Studies have shown that the priority of such plant additives is cryogenic grinding of raw materials. Herbal supplements obtained by low-temperature technologies, due to fine grinding are a concentrate of biologically active substances (anthocyanins, carotenoids, chlorophylls), contain a significant amount of low- and high-molecular phenolic compounds, dietary fiber, vitamins, glycosides, organic acids and macro-acids. antioxidant, immunomodulatory properties, as well as high coloring ability, good taste and aromatic characteristics.

The above indicates the relevance of studying the possibility of using plant powders with high content of natural dyes of anthocyanin, carotenoid and chlorophyll nature in the production of jelly marmalade to improve its quality and biological value, natural color products, and exclusion from the recipe of synthetic dyes and flavors.

Kuprina O. V., Tyurina A. K., Medvedeva E. N. developed a recipe for functional marmalade products based on sea buckthorn puree and arabinogalactan isolated from Siberian larch wood [9].

Yamchenko T. V., Zemlyakova E. S. developed a recipe and technology for the production of marmalade from non-standard raw materials, namely oat flakes, from which an oat drink was obtained, which acts as the basis for this product [10].

Sanzharovskoy N. S., Khrapko O. P. substantiated and developed recipes and technologies for the production of jelly marmalade «Yagodny», «Phyto», «Spring» based on pectin extracts from hawthorn, wild rose and sea buckthorn fruits and phyto-infusions — chamomile, dioica nettle, peppermint, allowing to obtain products mass consumption with increased nutritional value, intended for functional nutrition [11].

Sagdic O., Toker O. S., Polat B., Arici M. and Yilmaz M. T. studied the bioactive and rheological properties of rosehip marmalade, which is widely consumed for breakfast in Turkey. This marmalade is prepared by boiling fruit pulp with sugar and acid until the desired Brix value is reached [12].

Skobelskaya Z. G., Butin S. A., Lyubenina I. A., Kolpakova V. V. a recipe and technology for the production of functional marmalade enriched with polyunsaturated fatty acids has been developed.

Domestic linseed oil containing more than 60% omega-3 and omega-6 fatty acids served as an additive that imparts functional properties to marmalade [13].

Savenkova T. V., Krylova E. N., Mavrina E. N. a method for the production of functional jelly marmalade has been developed. As a functional additive, an inulin preparation with a mass fraction of dietary fiber of 90% is used [14].

Figueroa L. E., Genovese D. B. developed a new functional product — marmalade enriched with dietary fiber. For this purpose, 3 g of fiber from apples, bamboo, plantain, and wheat were added [15].

Ajala S., Ajao I. A. developed a banana marmalade with the addition of ginger to the recipe. This was done to increase the nutritional value and improve the taste of banana marmalade. Marmalade was prepared with different amounts of ginger (1; 2; 3 and 0%). According to the results of the study, marmalade with 1% ginger received the highest rating [16].

Tugba Ozbek, Neshe Shahin-Yoshilchubuk and Birsen Demirel developed and characterized strawberry marmalade containing functional food ingredients such as omega-3 fatty acids, dietary fiber, protein and antioxidants, with the addition of chia seeds [17].

Pavlovich S. R., Tepich A. N., Vuychich B. L. studied low-calorie marmalade, which is produced at the Srbijanka factory (Serbia). This low-sugar marmalade is made from apricot, peach, strawberry, apple and orange [18].

Egbekun M. K., Nda-Suleiman E. O., Akinie O. developed a recipe and technology for making marmalade from corrugated pumpkin (*Telfairia Occidentalis*), which grows in Africa [19].

Zhilinskaya N. V., Sarkisyan V. A., Vorobieva V. M., Vorobieva I. S., Kochetkova A. A., Smirnova E. A., Glazkova I. V. developed marmalade for patients with type 2 diabetes. This marmalade was made on the basis of agar-agar, gelatin and pectin with maltitol, dried fruits and berries to control glycemia [20].

Lobosova L. A., Magomedov M. G., Zhurakhova S. N. a technology has been developed for producing jelly-fruit marmalade on pectin with the replacement of granulated sugar with fructose and 30% applesauce with pureed chokeberry fruits, molded by the “syringing” method using a continuous vacuum syringe into a metallized film of the “flow-pack” type [21].

Kamiloglu S., Pasli A. A., Ozcelik B., Camp D. V., Kapanoglu E. investigated the stability of total phenolic compounds and phenolic acids, as well as the antioxidant capacity in black carrot marmalade after processing, storage and in vitro gastrointestinal digestion. — intestinal tract. It was concluded that black carrot marmalade is a good source of polyphenols with a high level of bioavailability [22].

Frolova N. A. and Reznichenko I. Yu. a method has been developed for obtaining functional jelly marmalade, where stevioside is used as a sweet agent in syrup, pectin from viburnum and lemongrass berries is used as a gelling agent, and pulp from viburnum and lemongrass berries, Lavitol-V premix, is used as functional components [23]. Arslaner A., Salyk M. A. investigated the physicochemical and microbiological characteristics and mineral compositions of marmalade

obtained by the traditional method using *Berberis integerrima* Bunge (purple barberry), *Berberis vulgaris* L. (pink barberry), *Rosa pimpinellifolia* L. (black rosehip), *Rosa canina* L. (pink rosehip), *Malus sylvestris* Miller (sour apple) and *Vaccinium corymbosum* L. (blueberry), grown in natural conditions in the provinces of Bayburt and Trabzon. Based on research, it was concluded that these fruits, which are not usually eaten as table fruits, but have a rich mineral composition, characteristic taste and pleasant aroma, can be used in the production of marmalade [24].

Emaldi U., Nassar D. M., Semprum K. studied the possibility of obtaining marmalade from the pulp of the fruits of the red and white varieties of the cactus Cardon Dato (*Stenocereus griseus*). Marmalade recipes were developed and their stability was evaluated during three months of storage at room temperature [25].

Emelike N. D.T., Akusyu O.M. developed marmalade from tropical fruits and nuts such as mango, cashew, pineapple, guava, lemon. Their pectin strength was evaluated. The results of the study showed that all samples were understandable and suitable for consumers. But the highest acceptability scores are for mango, pineapple, and cashew marmalade. Consequently, it was concluded that some Nigerian tropical fruits and nuts can and should be used in the production of marmalade, which will also have a positive effect on reducing their annual losses [26].

Thus, the conducted studies confirm the relevance of developing and saturating the market with sugary confectionery products, namely marmalade, which lead to increased competition, develop a scientifically based formation of specialized diets with the inclusion of functional marmalade, for feeding organized groups living in environmentally unfavourable regions. The constant addition of marmalade to the human diet will ensure mass prevention of the population from aggressive environmental agents.

Objective of the article is to develop the technology and recipe of marmalade based on pumpkin puree and clarified whey and the study of organoleptic characteristics at a certain shelf life.

Presentation of the main study material. It is known that the benefits of pumpkin puree is the presence of a large number of minerals and vitamins. It contains vitamin A, which is important for eyesight, and together with vitamin E, it improves the condition of the skin. The puree contains B vitamins, which are important for the nervous system, which, in turn, helps to cope with insomnia, fatigue and stress. Ascorbic acid, which is also present in this product, increases the body's defenses. Pumpkin puree also contains vitamins D, F and PP. As for minerals, for example, it contains magnesium and potassium, which are important for the cardiovascular system, as well as iron, which is involved in the process of hematopoiesis. Pumpkin puree contains a lot of fiber, which cleanses the intestines and improves the digestive system. Contains pumpkin puree folic acid, which is needed for children and adults. Pumpkin has the ability to improve kidney function and cleanse the body of toxins. Due to the high content of pectin, pumpkin has high gem-forming properties, which allows you to avoid the use of additional substances. The main source of pectin in the human body are fruits and products made from them, in particular, marmalade.

In order to enrich marmalade with biologically active substances, various types of non-traditional raw materials are used: we have proposed pumpkin puree, which allows to give the product certain functional properties and at the same time has a positive effect on its safety due to available natural bactericidal substances.

We have proposed a method of obtaining marmalade, which includes the preparation of pumpkin puree, preparation of syrup from sugar, molasses and pectin, using clarified whey (75–80 ° Turner), fermented with bacterial leaven, adding additives, cooking, separating marmalade mass with laminated, developing, forming, drying and packing. Clarified whey is fermented with bacterial yeast, which consists of a consortium of lactic acid bacteria — culture of Bulgarian (*Lactobacillus bulgaricus*) and acidophilic (*Lactobacillus acidophilus*) rods in a ratio of 3:2 at a temperature of 37–38 °C with the addition of ascorbic acid.

The problem is solved by the fact that the composition of marmalade in the following ratio of components (parts by weight):

clarified curd whey	18.0–20.0
bacterial leaven	0.9–1.0
granulated sugar	30.0–36.0

sirup	4.5–5.0
citrus pectin	3.0–3.2
pumpkin puree.....	32.5–40.0
ascorbic acid	2.2–2.4
sodium lactate.....	0.5–0.6

The use of the proposed method will allow to obtain marmalade with a harmonious combination of organoleptic, high therapeutic and prophylactic and consumer properties. The positive effect of marmalade is due to the mutual complex influence of all components and their quantity. The ratio of the components of the composition is selected experimentally to ensure in the finished marmalade a high content of biologically active compounds inherent in this composition of raw materials. The composition has a vitamin, tonic effect and thus increases the human body's resistance to adverse environmental factors.

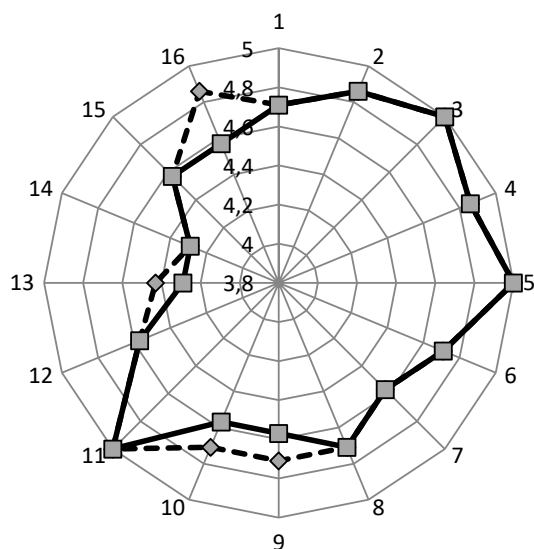
These components of the composition in certain quantities harmoniously complement the organoleptic properties of each other, creating marmalade with original taste and pleasant aroma. The complex of compounds that are part of plant raw materials, allows you to include marmalade to dietary products.

We conducted research on the recipe composition of different ratios of ingredients on different examples. Examples of marmalade formulations and their organoleptic properties are given in Table 1. The quality of the product was determined by organoleptic method.

Table 1 — Organoleptic evaluation of fruit and berry marmalade

Indicator	Fruit and berry marmalade according to traditional recipes	“Amber” marmalade (from pumpkin puree with clarified whey)
Taste, smell and color	Clear taste and smell, with a slight sourness, deep orange color, characteristic of this type of product	The outer layers have a distinct taste and smell of pumpkin marmalade, bright orange color, slightly pronounced milky taste
Consistence	Gemstone	Gemstone
Form	Slightly irregular in shape, without deformation	Slightly irregular in shape, without deformation
Surface	A thin crystalline layer	A thin crystalline layer

According to the regulatory documentation for the period of storage (up to 30 days) in the product should not be processes that affect the quality of marmalade. To establish changes in the quality of amber marmalade, studies of organoleptic parameters were conducted. Quality indicators were determined before and after storage for 30 days. To determine the changes in the organoleptic characteristics of the strip during storage, a scale of sensory evaluation was developed, which is presented graphically in the form of separate descriptors on circular organoleptic profiles,



where the value of each component of organoleptic evaluation is marked on a 5-point scale. After determining the organoleptic characteristics, organoleptic profiles were constructed (Fig. 1).

According to the results of the study (Fig. 1), after 30 days of storage in marmalade «Amber»

Figure 1 — Organoleptic profiles of marmalade «Amber»: - - - freshly made; — after 30 days of storage. Descriptors: appearance (1 — homogeneity; 2 — fluidity); consistency (3 — density; 4 — viscosity); color (5 — intensity; 6 — purity; 7 — homogeneity; 8 — naturalness); smell (9 — purity; 10 — expressiveness; 11 — balance); taste (12 — sweetness; 13 — intensity; 14 — homogeneity; 15 — texture; 16 — naturalness).

there was a slight decrease in the severity of odor, as well as the intensity and naturalness of the taste of pumpkin.

Conclusions. Based on research, it can be argued that the use of pumpkin products for marmalade production will expand the range of fruit marmalade and increase the biological value of finished products. Inclusion in the recipe of pumpkin will help to obtain functional marmalade. The positive effect of marmalade is due to the mutual complex influence of all components and their quantity. In further research, we will investigate the chemical composition of fruit marmalade. Justification of the content of significant amounts of ascorbic acid, pectins and β -carotenes. Due to this, fruit marmalade has not only high nutritional, but also therapeutic and prophylactic properties.

References

1. Tefikova, S. N., Nikitin, I. A., Kondrat'ev, N. B., Semenkina, N. G. (2018). *Rasshirenie assortimenta zhelejnogo formovogo marmelada na osnove ovoshchnogo pyure* [Expansion of the assortment of jelly shaped marmalade based on vegetable puree], *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], vol. 80, no. 2, pp. 165–174. doi: 10.20914/2310–1202–2018–2–165–174.
2. Pilipenko, I. V. (2008). *Razrabotka tehnologii plodovih sokov s povyishennoy sohranyaemostyu biologicheskii aktivnyih veschestv* [Development of technology for fruit juices with high persistence of biologically active substances: PhD in Engineering sciences thesis], Odessa, 281 p.
3. Homych, G. P. (2012). *Naukovi osnovi tehnologiyi pererobky fruktovo-yahidnoyi dikorosloyi syrovyny* [Scientific bases of the processing technology of fruit and berries wild-growing raw materials: Grand PhD in Engineering sciences thesis], Odessa, 366 p.
4. Gnitsevich, V. A., Slashcheva, A. V., Ivashchenko, M. V. (2014). *Obhruntuvannya mozhlivosti vykorystannya fermentnyh preparativ u tekhnolohiyakh roslynnykh napivfabrykativ z pidvischenym vmistom pektynovykh rehovyn* [The application possibility substantiation of enzymatic preparations in the technologies of vegetable raw materials with a high content of pectin substances], *Naukoviy zhurnal «Visnik DonNUET», Part: Tehnichni nauki* [Bulletin of DonNUET. Series: Technical Sciences], No. 1 (58), pp. 37–45.
5. Homich, G. P., Kaprelyants, L. V. (2013). *Fenolni spoluky dikoroslykh plodiv ta yahid: sklad, vlastyvoli, zminy pry pererobtsi* [Phenolic compounds of wild fruits and berries: composition, properties, changes during processing], Poltava, 217 p.
6. Ptichkina, N. M., Markina, O. A., Rummyantseva, G.N. (2008). Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food hydrocolloids*, no. 22, pp. 192–195.
7. Golubev, B. N., Ilina, O. A. (2012). *Tehnologiya ovoschefruktovyih past s aktivirovannym pektinom* [The technology of vegetable and fruit pastes with an activated pectin], *Khranenie i pererabotka selkhozsyria* [Storage and processing of agricultural raw materials], no. 10, pp. 40–42.
8. Dzhamaldinova, B. A. (2007). *Poluchenie i primenenie polufabrikatov dikoras-tuschih plodov dlya obogascheniya konditerskih izdeliy* [The receipt and use of semi-wild fruits for enrichment of confectionery products: Grand PhD in Engineering sciences thesis], Voronezh, 188 p.
9. Kuprina, O. V., Tyurina, A. K., Medvedeva, E. N. (2015). *Funkcional'nye pastil'no-marmeladnye izdeliya na osnove oblepivovogo pyure i arabinogalaktana* [Functional pastille-marmalade products based on sea buckthorn puree and arabinogalactan], *Vestnik IrGTU* [Bulletin of IRGTU], no. 11 (106), pp. 123–130.
10. Shevchenko, O. V. (2012). *Tekhnolohiya solodkykh strav i sousiv iz vitapektinom ta fitosorbentom* [Technology of sweet dishes and sauces with vitapectin and phytosorbent: Grand PhD in Engineering sciences thesis], Kyiv, 192 p.
11. Sanzharovskaya, N. S., Khrapko, O.P. (2017). *Tekhnologiya proizvodstva zhelejnogo marmelada na osnove pektynovykh ekstraktov i fitonastoev* [Technology of jelly

marmalade production based on pectin extracts and phytonastes], *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal], no. 10 (64), pp. 95–98.

12. Sagdic, O., Toker, O.S., Polat, B., Arici, M. et al. (2015). Bioactive and rheological properties of rose hip marmalade, *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52 (10). pp. 6465–6474. doi: 10.1007/s13197-015-1753-z.

13. Skobel'skaya, Z. G., Butin, S. A., Lyubenina, I. A., Kolpakova, V. V. (2017). *Marmelad funkcional'nogo naznacheniya, sodержashchij l'nyanoe maslo* [Marmalade of functional purpose, containing linseed oil], *Konditerskoe proizvodstvo* [Confectionery production], pp. 4–9.

14. Savenkova, T. V., Krylova, E. N., Mavrina, E. N. (2019). Production of functional purpose jelly marmalade. Patent RF, no. 270577.

15. Figueroa, L. E., Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *LWT — Food Science and Technology*, vol. 111, pp. 423–428. doi: 10.1016/j.lwt.2019.05.031.

16. Ajala, S., Ajao, I. A. (2012). Production and Quality Evaluation of Ginger-Flavoured Banana Marmalade. *International Journal of Emerging trends in Engineering and Development*, vol. 7, pp. 579–584.

17. Özbek, T., Şahin-Yeşilçubuk, N., Demirel, B. (2019). Quality and Nutritional Value of Functional Strawberry Marmalade Enriched with Chia Seed (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Food Quality*. doi: 10.1155/2019/2391931.

18. Pavlović, S. R., Tepić, A. N., Vujičić, B. L. (2013). Low-calorie marmalades. *Acta Periodica Technologica*, pp. 23–30. doi: 10.2298/APT0334023P.

19. Egbekun, M. K., Nda-Suleiman, E. O., Akinyeye, O. (2008). Utilization of Fluted Pumpkin Fruit (*Telfairia Occidentalis*) in Marmalade Manufacturing. *Plant Foods for human nutrition*, vol. 52 (2), pp. 171–176. doi: 10.1023/a:1008065220452.

20. Zhilinskaya, N. V., Sarkisyan, V. A., Vorobieva, V. M., Vorobieva, I. S. et al. (2018). Development of a Marmalade for Patients With Type 2 Diabetes: Sensory Characteristics and Acceptability. *Food Science and Technology International*, vol. 24 (7), pp. 617–626. doi: 10.1177/1082013218779748.

21. Lobosova, L. A., Magomedov, M. G., Zhurakhova, S. N. (2016). *Diabeticheskij zhelejno-fruktovyj marmelad s plodami aronii* [Diabetic jelly-fruit marmalade with fruits of aronia]. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET], no. 7, pp. 256–260. doi: 10.20914/2310-1202-2016-4-256-260.

22. Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., Camp, J. V., Capanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*, vol. 186, pp. 74–82. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.046.

23. Frolova, N. A., Reznichenko, I. Yu. (2019). Production of functional purpose jelly marmalade, Patent RF, no. 2694970.

24. Arslaner, A., Salik, M. A. (2020). Some Quality Properties, Mineral and Heavy Metal Composition of Wild Fruit Traditional Marmalades. *Turkish Journal of Agriculture. Food Science and Technology*, vol. 8 (3), pp. 678–687. doi: 10.24925/turjaf.v8i3.678-687.3190.

25. Emaldi, U., Nassar, J.M., Semprum, C. (2006). Cardon dato (*Stenocereus griseus*, Cactaceae) fruit pulp as raw material for marmalade production. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, vol. 56 (1), pp. 83–89.

26. Emelike, N. J. T., Akusu, O. M. (2019). Quality Attributes of Jams and Marmalades Produced from Some Selected Tropical Fruits. *Journal of Food Processing & Technology*, vol. 10 (5). doi: 10.4172/2157-7110.1000790.

Список літератури

1. Тефикова С. Н., Никитин И. А., Кондратьев Н. Б., Семенкина Н. Г. Расширение ассортимента желейного формового мармелада на основе овощного пюре. *Вестник ВГУ-ИТ*. 2018. Т. 80. № 2. С. 165–174. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-165-174.
2. Gould J. M., Furse S., Wolf B. The Role of Endogenous Lipids in the Emulsifying Properties of Cocoa. *Front. Chem.* 2016. V. 4. № 11. doi: 10.3389/fchem.2016.00011.
3. Сокольский И. Мармеладная история. *Наука и жизнь*. 2013. № 10. С. 148. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239806>.
4. Гніцевич В. А., Слащева А. В., Іващенко М. В. Обґрунтування можливості використання ферментних препаратів у технологіях рослинних напівфабрикатів з підвищеним вмістом пектинових речовин. *Вісник ДонНУЕТ. Серія: Технічні науки*. 2014. №1(58). С. 37–45.
5. Хомич Г. П., Капрельянц Л. В. Фенольні сполуки дикорослих плодів та ягід: склад, властивості, зміни при переробці : монографія. Полтава : ПУЕТ, 2013. 217 с.
6. Ptichkina N. M., Markina O. A., Romyantseva G. N. Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food hydrocolloids*. 2008. № 22. P. 192–195.
7. Голубев В. Н., Ильина О. А. Технология овощефруктовых паст с активированным пектином. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2012. № 10. С. 32–33.
8. Джамалдинова Б. А. Получение и применение полуфабрикатов дикорастущих плодов для обогащения кондитерских изделий: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. Воронеж, 2007. 188 с.
9. Куприна О. В., Тюрина А. К., Медведева Е. Н. Функциональные пастильно-мармеладные изделия на основе облепихового пюре и арабиногалактана. *Вестник ИрГТУ*. 2015. № 11 (106). С. 123–130.
10. Шевченко О. В. Технологія солодких страв і соусів із вітапектином та фітосорбентом: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16. Київ, 2012. 192 с.
11. Санжаровская Н. С., Храпко О. П. Технология производства желейного мармелада на основе пектиновых экстрактов и фитонастоев. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 10 (64). Часть 3. С. 95–98.
12. Sagdic O., Toker O.S., Polat B., Arici M. et al. Bioactive and rheological properties of rose hip marmalade. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. V. 52 (10). P. 6465–6474. doi: 10.1007/s13197-015-1753-z.
13. Скобельская З. Г., Бутин С. А., Любенина И. А., Колпакова В. В. Мармелад функционального назначения, содержащий льняное масло. *Кондитерское производство*. 2017. С. 4–9.
14. Пат. № 270577, RU, A23L 21/10, 33/21. Способ производства желейного мармелада функционального назначения /Савенкова Т. В., Крылова Э. Н., Маврина Е. Н.; патенто-обладатель ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН. № 2019117725; Заявл. 06.06.2019; Опубл. 11.11.2019.
15. Figueroa L. E., Genovese D. B. Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *LWT — Food Science and Technology*. 2019. V. 111. P. 423–428. doi: 10.1016/j.lwt.2019.05.031.
16. Ajala S., Ajao I. Production and Quality Evaluation of Ginger-Flavoured Banana Marmalade. *International Journal of Emerging trends in Engineering and Development*. 2012. V. 7. P. 579–584.
17. Özbek T., Şahin-Yeşilçubuk N., Demirel B. Quality and Nutritional Value of Functional Strawberry Marmalade Enriched with Chia Seed (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Food Quality*. 2019. doi: 10.1155/2019/2391931.
18. Pavlović S. R., Tepić A. N., Vujičić B. L. Low-calorie marmalades. *Acta Periodica Technologica*. 2013. P. 23–30. doi: 10.2298/APT0334023P.
19. Egbekun M. K., Nda-Suleiman E. O., Akinyeye O. Utilization of Fluted Pumpkin Fruit (*Telfairia Occidentalis*) in Marmalade Manufacturing. *Plant Foods for human nutrition*. 2008. V. 52 (2). P. 171–176. doi: 10.1023/a:1008065220452.

20. Zhilinskaya N. V., Sarkisyan V. A., Vorobieva V. M., Vorobieva I. S. et al. Development of a Marmalade for Patients With Type 2 Diabetes: Sensory Characteristics and Acceptability. *Food Science and Technology International*. 2018. V. 24 (7). P. 617–626. doi: 10.1177/1082013218779748.
21. Лобосова Л. А., Магомедов М. Г., Журахова С. Н. Диабетический желеино-фруктовый мармелад с плодами аронии. *Вестник ВГУИТ*. 2016. № 4. С. 256–260. doi: 10.20914/2310–1202–2016–4–256–260.
22. Kamiloglu S., Pasli A. A., Ozcelik B., Camp J. V., Capanoglu E. Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*. 2015. V. 186. P. 74–82. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.046.
23. Пат. № 2694970, RU, A23L 21/10, A23G 3/38. Способ производства желеино-мармелада функционального назначения / Фролова Н.А., Резниченко И.Ю.; патентообладатель ФГБОУВО «Кемеровский государственный университет». № 2018134687; Заявл. 01.10.2018; Опубл. 18.07.2019.
24. Arslaner A., Salik M.A. Some Quality Properties, Mineral and Heavy Metal Composition of Wild Fruit Traditional Marmalades. *Turkish Journal of Agriculture. Food Science and Technology*. 2020. V. 8(3). P. 678–687. doi: 10.24925/turjaf.v8i3.678–687.3190.
25. Emaldi U., Nassar J.M., Semprum C. Cardon dato (*Stenocereus griseus*, Cactaceae) fruit pulp as raw material for marmalade production. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 2006. V. 56 (1). P. 83–89.
26. Emelike N. J. T., Akusu O. M. Quality Attributes of Jams and Marmalades Produced from Some Selected Tropical Fruits. *Journal of Food Processing & Technology*. 2019. V. 10 (5). doi: 10.4172/2157–7110.1000790.

Мета. Метою статті є розробка технології та рецептури мармеладу на основі гарбузового пюре і освітленої підсирної сироватки та дослідження органолептичних показників при певному терміні зберігання.

Методи. У роботі використано стандартні загальноприйняті та спеціальні методи дослідження, що забезпечують виконання поставлених завдань. Відбір проб здійснювався згідно з вимогами ДСТУ ISO 874-2002, підготовка проб до лабораторного аналізу — згідно з ДСТУ 7040: 2009. Практичну апробацію рецептур та технології проводили в технологічній лабораторії ДонНУЕТ.

Результати. Досліджено покращення рецептурного складу та якості мармеладу з використанням натуральної сировини — гарбузового пюре. Включення в рецепт гарбузового пюре допоможе отримати функціональний мармелад. У статті висвітлено результати дослідження органолептичних показників. Позитивний ефект мармеладу обумовлений взаємним комплексним впливом усіх компонентів та їх кількості. Основним завданням підвищення якості мармеладу є використання натуральної сировини, зниження цукристості та підвищення біологічної цінності готової продукції.

Досліджено фруктовий мармелад, основу якого складає гарбузове пюре та освітлена сироватка. Доступна нам література не встановлює використання гарбуза як основної сировини у виробництві мармеладу. Враховуючи врожайність, доступність, широке поширення цього овоча в Україні, а також відомості про харчову та біологічну цінність гарбуза, вважаємо за доцільне використання гарбуза для виробництва мармеладу. На основі досліджень можна стверджувати, що використання гарбузового пюре для виробництва мармеладу дозволить розширити асортимент мармеладу та підвищити біологічну цінність готової продукції. Включення в рецепт гарбузового пюре допоможе отримати функціональний мармелад. Позитивний ефект мармеладу обумовлений взаємним комплексним впливом усіх компонентів та їх кількості.

Ключові слова: гарбуз, освітлена підсирна сироватка, мармелад, рецептура, технологія, органолептичні показники, вітаміни, пектин.

Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент¹

Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент¹

Пусікова О. А., асистент¹

Василевська А. О., здобувач ОС бакалавра¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: simakova@donnuet.edu.ua.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК АМАРАНТУ БАГРЯНОГО В ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

UDC 664.644.5:664.64.016

*Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

*Goriainova Yu. A., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor¹*

Pusikova O. A., Assistant Professor¹

Vasylevska A. O., a graduate of a bachelor's degree¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: simakova@donnuet.edu.ua.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ADDITIVES OF PURPLE AMARANTH IN THE TECHNOLOGY OF BAKERY PRODUCTS

Мета — дослідження можливості застосування добавок амаранту багряного (ДАБ) в технології виробів із дріжджового тіста.

Методи. Амілолітичну активність борошна з сухого листя амаранту багряного (АБ) досліджували з використанням модельного субстрату (2 %-го розчину крохмалю, частково декстринізованого). За кількістю мальтози, що утворюється (продукту глибокого гідролізу крохмалю), в реакційній суміші оцінювали активність ферментного препарату. Використовувалося борошно з сухого листя АБ і її 5 %-ва водна витяжка. На початку визначали роздільну активність α - і β -амілаз, присутніх в ферментній сировині. Використовували метод диференційованого визначення амілаз інактивацією однієї з них. При нагріванні ферментної суміші протягом 15 хвилин при $t=70$ °С α -амілаза майже повністю зберігається. Щоб стабілізувати α -амілазу при такому способі інактивування β -амілази, рекомендується додавати невелику кількість ацетату кальцію. Певна таким чином кількість редуруючих цукрів характеризує активність α -амілази, активність ж β -амілази визначають як різницю між сумарною активністю і активністю α -амілази.

Критерієм хлібопекарської гідності пшеничного борошна вибрано якість його клейковини, що визначали за розпливанням кульки з 10 г клейковини після годинного відлежування.

Вплив ДАБ на білизну борошна встановлювали визначенням білизни і відтінку борошна з різними концентраціями добавки на приладі ФПМ-1.

Результати. Експериментально встановлено, що ДАБ володіють гарною ферментною активністю, що підтверджується високою активністю амілазного комплексу: мальтозне число 5 %-ої водної витяжки з сухого листя АБ — $12,31 \pm 0,36$ %, з додаванням CaCl_2 ($\text{Ca}^{2+}=0,01$ г/л) — $16,0 \pm 0,35$ %. Отримані результати свідчать про перспективність використання ДАБ для поліпшення хлібопекарських якостей пшеничного борошна.

Визначена необхідна концентрація добавки борошна з сухого листя АБ до пшеничного борошна (1 %) для збагачення біологічно активними речовинами, поліпшення хлібопекарських властивостей борошна і збереження органолептичних показників. Досліджено вплив різних

Надійшла до редакції 25.02.2022 р. © О. О. Сімакова, Ю. А. Горайнова, О. А. Пусікова, А. О. Василевська, 2022

концентрацій ДАБ на вміст основних біологічно активних речовин у пшеничному борошні, розпльвання клейковини, показники білизни і відтінку кольору пшеничного борошна.

Ключові слова: *амарант багрянний, дріжджове тісто, пшеничне борошно, хлібобулочні вироби, ферментна активність.*

Постановка проблеми. Продукти з борошна, особливо вироби з пшеничного борошна, на теперішній час складають основу харчування людини, є продуктами щоденного споживання у всіх контингентів населення. Найбільш поширеним видом борошняних виробів є вироби з дріжджового тіста, яких налічується кілька сотень найменувань [1]. У зв'язку з цим, якість і харчова цінність хліба та хлібобулочних виробів має першорядне значення.

Проблема пошуку шляхів підвищення якості та харчової цінності виробів з борошна стає особливо актуальною, коли істотно скорочується споживання харчових продуктів тваринного походження — м'ясних, рибних, молочних і яєчних продуктів, тваринних жирів [2]. В цей час зростає в раціоні частка зернових продуктів, насамперед, виробів з борошна.

У цих умовах більш одноманітного харчування особливо гостро стоїть проблема підвищення якості та харчової цінності виробів з дріжджового тіста, а пошук можливих шляхів поліпшення стає особливо актуальним. Перш за все, це стосується продукції з вищих сортів пшеничного борошна, більш поширеної в повсякденному житті і кулінарній практиці, і найменш повноцінної в біологічному плані [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним з найбільш перспективних видів нетрадиційної сировини, який може використовуватися для збагачення виробів з дріжджового тіста, є амарант багрянний (АБ). АБ — рослина, поширена в багатьох кліматичних поясах, за винятком районів Крайньої Півночі [2].

Результати попередніх досліджень в сукупності дозволяють вважати АБ, а перш за все, борошно з сухого листа, перспективним в якості концентрованої білково-вітамінної добавки до пшеничного борошна вищого сорту. Слід зазначити, що практично немає досліджень, спрямованих на підвищення харчової і біологічної цінності виробів з дріжджового тіста за допомогою борошна з сухого листа АБ безпосередньо в пшеничне борошно [4].

Проте недостатньо знайти добавку, яка забезпечувала б вміст найважливіших біологічно активних речовин у пшеничному борошні, тим самим підвищуючи її харчову цінність, і, отже, цінність виробів. Необхідно, щоб пропонована добавка не погіршувала споживчих якостей продукції з такого борошна. Наприклад, не вплинула на пружно-еластичні властивості клейковини, аромат і забарвлення кірки виробу. Тому, перш ніж рекомендувати багаті вітамінами, білком і мінералами добавки АБ для збагачення пшеничного борошна, необхідно детально дослідити вплив їх на хлібопекарські якості останньої [5].

Мета статті — дослідження можливості застосування добавок амаранту багряного (ДАБ) в технології виробів із дріжджового тіста.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш ніж розглядати можливість внесення багатих на вітаміни, мінеральні речовини і білком ДАБ в пшеничне борошно, слід детально дослідити вплив на його амілолітичну активність. Якщо борошно має низьку амілолітичну активність, то в тістовому напівфабрикаті не буде утворюватися достатньої кількості мальтози. Процес бродіння відбуватиметься з малою інтенсивністю, виріб вийде поганої якості, з недостатньо пористим, пишним м'якушем. Цукроутворююча здатність борошна також впливає на отримання при випічці виробів хрусткої коричневої скоринки. Під дією високої температури відбувається взаємодія між білками і відновлюючими цукрами з утворенням меланоїдинів, які надають забарвлення кірки випеченому виробу та альдегідів і кетонів, що входять до складу його ароматичного комплексу (реакція Майяра) [6]. При недостатній кількості цукрів виріб виходить з блідою кіркою і слабким ароматом.

В першу чергу, необхідно було вивчити амілолітичну активність самих ДАБ. Досліджували амілолітичну активність борошна з сухого листа АБ з використанням модельного субстрату (2 %-го розчину крохмалю, частково декстринізованого). За кількістю

мальтози, що утворюється (продукту глибокого гідролізу крохмалю), в реакційній суміші оцінювали активність ферментного препарату. Використовувалося борошно з сухого листа АБ і її 5 %-ва водна витяжка. На початку визначали роздільну активність α - і β -амілаз, присутніх в ферментній сировині. Зараз велика увага приділяється α -амілазі, так як саме α -амілаза гідролізує 1,4-глюконові зв'язки в молекулі полісахариду. Відбувається деполімеризація крохмалю, його молекули розщеплюється на великі уламки. Характерна ознака впливу α -амілази — швидке розрідження клейстеризованого крохмалю [7]. Особливо інтенсивно, при високій активності α -амілази, розпад крохмалю протікає в умовах високої температури випічки виробів, що може викликати різке погіршення якості м'якушки. β -амілаза розщеплює кожний другий глікозидний зв'язок від кінця ланцюга полісахариду, при цьому відщеплюється мальтоза. На самому початку дії β -амілази в реакційній суміші утворюється редуруючий цукор, який створює сприятливі умови для бродіння тіста. У нашій ситуації підвищена β -амілазна активність ДАБ може негативно вплинути на позитивні якості. Таким чином, слід диференційовано провести визначення α - і β -амілаз ДАБ, щоб переконатися, що висока сумарна амیلотична активність не вплине на погіршення якості м'якушки готових виробів.

У дослідницькій практиці поширений метод диференційованого визначення амілаз інактивацією однієї з них. При нагріванні ферментної суміші протягом 15 хвилин при $t = 70$ °С α -амілаза майже повністю зберігається. Щоб стабілізувати α -амілазу при такому способі інактивування β -амілази, рекомендується додавати невелику кількість ацетату кальцію. Певна таким чином кількість редуруючих цукрів характеризує активність α -амілази, активність ж β -амілази визначають як різницю між сумарною активністю і активністю α -амілази. Дані по визначенню активності α - і β -амілаз, а також за сумарною амілазною активністю наведені в табл. 1.

Таблиця 1 — Визначення активності α - і β -амілаз борошна з сухого листа АБ

№	Ферментний препарат	Мальтозне число, % мальтози
1	5 %-ва водна витяжка з сухого листа АБ з неінактивованою β -амілазою	12,31±0,36
2	5 %-ва водна витяжка з сухого листа АБ з інактивованою β -амілазою	1,12±0,09
3	Розрахункове значення активності β -амілази	11,23±0,34

Судячи з даних табл. 1, активність α -амілази в борошні з сухого листа АБ вкрай низька, що повністю узгоджується з літературними даними про малу активність α -амілази в рослинній сировині [5]. Надалі, досліджуючи дію вивчаемого ферментного препарату на різні субстрати, можна без будь-якої шкоди знехтувати α -амілазою, проводячи сумарне визначення активності амілазного комплексу. Докладні експериментальні результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2 — Вплив амілаз борошна з сухого листа АБ на гідроліз крохмалю

№	Субстрат	Ферментний препарат	Мальтозне число, % мальтози
1	2 %-ий розчин крохмалю	5 %-ва водна витяжка ячмінного солоду	17,21±0,37
2	—//—	5 %-ва водна витяжка з сухого листа АБ	12,31±0,36
3	—//—	5 %-ва водна витяжка з сухого листа АБ на розчині хлориду кальцію ($\text{Ca}^{2+}=0,01$ г/л)	16,0±0,35

Дані табл. 2 показують, що амілазний комплекс листа АБ трохи менш активний в порівнянні з обраним в якості препарату порівняння ячмінним солодом. Проте актив-

ність амілазного комплексу може бути підвищена з використанням невеликих добавок іонів Ca^{2+} , які беруть участь у формуванні та стабілізації активного центру і всієї третинної структури ферменту, сприяють утворенню найбільш вигідної конфігурації ферменту та активного фермент-субстратного комплексу [2].

Добавка CaCl_2 в реакційну суміш істотно підвищує амілолітичну активність препарату і ставить його практично на один рівень з ячмінним солодом.

Для дослідження ферментної активності сировини на модельних субстратах встановлені певні правила, що передбачають використання 5 %-ої водної витяжки ферментної сировини [8]. Але перш ніж досліджувати вплив сухого препарату на амілолітичну активність пшеничного борошна, необхідно було вибрати оптимальну концентрацію добавки.

За основу при виборі концентрації борошна з сухого листа АБ були прийняті три положення:

- кількість добавки повинна бути достатньою, щоб відчутно позначитися на вітамінному і мінеральному складі пшеничного борошна;
- необхідно, щоб добавка не погіршувала реологічних показників тіста;
- добавка, що вводиться, не повинна надавати істотного впливу на колір борошна і м'якушки виробу.

Дані щодо впливу концентрації ДАБ на вміст основних біологічно активних речовин у пшеничному борошні представлені в табл. 3. (дані отримані розрахунковим шляхом).

Таблиця 3 — Вплив концентрації ДАБ на вміст основних біологічно активних речовин в пшеничному борошні

№	Концентрація добавки, %	Вміст біологічно активних речовин					
		білок, %	вітамін С, %	каратиноїди, мг %	вітамін Е, мг %	Р, мг %	Fe, мг %
1	0	12,7±0,3	—	—	1,1±0,1	86,0±0,7	1,2±0,1
2	0,25	12,7±0,5	0,4±0,2	0,1±0,1	1,2±0,1	88,0±0,6	1,4±0,1
3	0,5	12,8±0,4	0,7±0,3	0,2±0,1	1,3±0,1	90,0±0,5	1,7±0,2
4	0,75	12,9±0,3	1,0±0,4	0,3±0,2	1,5±0,2	92,2±0,7	1,8±0,1
5	1,0	13,1±0,6	1,4±0,3	0,5±0,2	1,6±0,1	94,2±0,9	2,2±0,2
6	2,0	13,3±0,5	2,8±0,4	1,0±0,3	2,1±0,2	102,4±0,8	3,2±0,1

Як видно з наведених в табл. 3 даних, малі концентрації ДАБ до пшеничного борошна практично не позначаються на його якісному складі і лише, починаючи з концентрації в 1 %, добавка робить відчутний вплив на біологічну цінність субстрату. Введення добавки в кількості менше 1 % представляється недоцільним. З іншого боку, концентрації ДАБ в 1 % і вище можуть погіршити хлібопекарські властивості пшеничного борошна і звести нанівець позитивний результат, отриманий від її збагачення.

Як критерій хлібопекарської гідності пшеничного борошна ми вибрали якість його клейковини, що визначається за розпливанням кульки з 10 г клейковини після годинного відлежування [9]. Дані по розпливанню кульки клейковини, відмитої з пшеничного борошна, що містить різні концентрації ДАБ, наведені в табл. 4.

Таблиця 4 — Вплив концентрації ДАБ на розпливання клейковини пшеничного борошна

№	Концентрація добавки, %	Діаметр кульки, мм
1	0	40
2	0,25	40
3	0,5	42
4	0,75	44
5	1,0	47
6	2,0	106

Як впливає з даних табл. 4, невеликі добавки препарату практично не послаблюють клейковину борошна аж до концентрації 1 %. Подальше збільшення концентрації препарату призводить до різкого погіршення якості клейковини.

Дослідження щодо впливу концентрації ДАБ на якість клейковини (табл. 4) підтверджують, що концентрація ДАБ, рівна 1 %, є оптимальною, достатня для збагачення пшеничного борошна основними біологічно активними сполуками і недостатньо велика для погіршення якості клейковини.

Для встановлення впливу ДАБ на білизну борошна було проведено визначення білизни і відтінку борошна з різними концентраціями добавки на приладі ФПМ-1 (рис. 1).



Рисунок 1 — Зразки борошна з різною концентрацією ДАБ, %:
а — 2, б — 0; в — 0,25; г — 0,5; д — 0,75; е — 1

Дані визначення наведені в табл. 5.

Таблиця 5 — Вплив ДАБ на показники білизни і відтінку кольору пшеничного борошна (в умовних одиницях шкали приладу ФПМ-1)

№	Концентрація добавки, %	Показання вимірювання при світофільтрі		Відтінок кольору борошна (по номограмі)
		СЗС-7	ОС-14	
1	0	18	28	білий
2	0,25	19	29	білий
3	0,5	19	29	білий
4	0,75	20	29	сіруватий
5	1,0	21	30	кремовий
6	2,0	35	53	жовтий

Судячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що ДАБ в незначних концентраціях (до 0,5 %) практично не позначається на відтінку пшеничного борошна — колір його не відрізняється від кольору без добавок. Починаючи з концентрації в 0,75 % і до 1 % добавки в борошні, з'являється сіруватий відтінок, але такий колір не виходить за рамки вимог, що пред'являються до пшеничного борошна вищого сорту [10]. Збільшення ж ДАБ до 2 % викликає досить різке потемніння борошна, що в одиницях шкали приладу вказує на кремовий і жовтий колір.

Таким чином, отримані дані по впливу ДАБ на показники білизни і відтінку кольору пшеничного борошна (табл. 5) дозволяють зупинитися на концентрації добавки в 1 % як найбільш оптимальної для збагачення пшеничного борошна вищого сорту.

Висновки. Експериментально встановлено, що ДАБ володіють гарною ферментною активністю, що підтверджується високою активністю амілазного комплексу: мальтозне число 5 %-ої водної витяжки з сухого листа АБ — $12,31 \pm 0,36$ %, з додаванням CaCl_2 ($\text{Ca}^{2+} = 0,01$ г/л) — $16,0 \pm 0,35$ %. Отримані результати свідчать про перспективність використання ДАБ для поліпшення хлібопекарських якостей пшеничного борошна.

Визначена необхідна концентрація добавки борошна з сухого листа АБ до пшеничного борошна (1 %) для збагачення біологічно активними речовинами, поліпшення хлібопекарських властивостей борошна і збереження органолептичних показників. Досліджено вплив різних концентрацій ДАБ на вміст основних біологічно активних речовин

у пшеничному борошні, розпливання клейковини, показники білизни і відтінку кольору пшеничного борошна.

Експериментальні дані дозволяють провести дослідження впливу ДАБ на амілолітичну і протеолітичну активність пшеничного борошна, а також стан його білкового комплексу, що і планується у найближчій перспективі.

Список літератури

1. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України. Київ : Консультант, 2016. 54 с.
2. Сімакова О. О. Перспективи використання амаранту багряного в технології виробів із дріжджового тіста. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2021. Вип. 1 (42). С. 26–32. doi : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-26-32.
3. Лозова Т. М. Наукові основи формування споживних властивостей і зберігання якості борошняних кондитерських виробів : монографія / ред. І. В. Сирохман. Львів : ЛКУ, 2009. 456 с.
4. 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, no. 11 (92). P. 57–64. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127173.
5. Магомедов Г. О., Пономарева Е. И. Научные и практические основы технологии сбивных функциональных хлебобулочных изделий : монография. Воронеж : ВГУИТ, 2010. 241 с.
6. Павлюк Р. Ю. та ін. Активізація рослинних біологічно активних речовин фізичними методами : монографія. Харків, 2010. 157 с.
7. Чертов Е. Д., Пономарева Е. И., Кустов В. Ю. Изменение свойств муки из цельнозернового зерна пшеницы в зависимости от размера частиц. *Хлебопродукты*. 2011. № 11. С. 50–61.
8. 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. doi: 10.15587/1729-4061.2019.184464.
9. Погарская В. В. и др. Новые технологии функциональных оздоровительных продуктов : монография. Харьков, 2007. 262 с.
10. Сирохман І. В., Лозова Т. М. Наукові спрямування у поліпшенні споживних властивостей та якості борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці НУХТ*. 2008. № 25. С. 40–43.

References

1. Statistical collection (2016). *Balansy ta spozhyvannya osnovnykh produktiv kharchuvannya naseleennyam Ukrayiny* [Balances and consumption of basic foodstuffs by the population of Ukraine]. Kyiv, Konsultant Publ., 54.
2. Simakova O. O. (2021). *Perspektyvy vykorystannya amarantu bahryanoho v tekhnolohiyi vyrobiv iz drizhdzhovoho tista* [Prospects for the use of purple amaranth in the technology of yeast dough products]. *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 1 (42). pp. 26–32. doi: 10.33274/2079-4827-2021-42-1-26-32.
3. Lozova T. M. (2009). *Naukovi osnovy formuvannia spozhyvnykh vlastyvostei i zberihannia yakosti boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv* [Scientific bases of formation of consumer properties and preservation of quality of flour confectionery]. Lviv, LKU Publ., 456.
4. 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*, vol. 2, no. 11 (92), pp. 57–64. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127173.

5. Magomedov G. O., Ponomareva E. I. (2010). *Nauchnyye i prakticheskiye osnovy tekhnologii sbivnykh funktsional'nykh khlebobulochnykh izdeliy* [Scientific and practical fundamentals of technology of chopped functional bakery products]. *Voronezh : VSTA* [Voronezh : VSTA], 241.
6. Pavliuk R. Yu. (2010) *Aktyvatsiya roslynnykh biolohichno aktyvnykh rehovyn fizychnymy metodamy* [Activation of plant biologically active substances by physical methods]. *Kharkiv*, 157.
7. Chertov E. D., Ponomareva E. I., Kustov V. Yu. (2011). *Izmeneniye svoystvmuki iz tsel'nosmolotogo zerna pshenitsy v zavisimosti ot razmera chastits* [Change the properties of flour from whole-wheat grain, depending on the particle size]. *Hleboprodukty* [Bread products], no. 11, pp. 50-61.
8. 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*, vol. 6, no. 11 (102). pp. 23–32. doi: 10.15587/1729-4061.2019.184464.
9. Pogarskaya V. V. (2007). *Novye tekhnologii funktsional'nyh ozdorovitel'nyh produktov* [New technologies of functional health products]. *Kharkiv*, 262.
10. Syrokhman I. V., Lozova T. M. (2008). *Naukovi spriamuvannia u polipshenni spozhivnykh vlastyvostei ta yakosti boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv* [Scientific directions in improving the consumer properties and quality of flour confectionery]. *Naukovy pratsi NUKhT* [Scientific works of NUHT], no. 25, pp. 40–43.

Objective — study of the possibility of using purple amaranth additives in the technology of yeast dough products.

Methods. The amylolytic activity of dry leaves of purple amaranth (PA) was studied using a model substrate (2 % starch solution, partially dextrinized). The activity of the enzyme preparation was evaluated in the reaction mixture by the amount of maltose formed (product of deep hydrolysis of starch). Used flour from dried leaves PA and its 5 % aqueous extract. Initially, the separate activity of α - and β -amylases present in the enzyme raw materials was determined. Used the method of differentiated determination of amylase by inactivation of one of them. When the enzyme mixture is heated for 15 minutes at $t = 70^\circ\text{C}$ α -amylase is almost completely preserved. To stabilize α -amylase in this method of inactivating β -amylase, it is recommended to add a small amount of calcium acetate. A certain amount of reducing sugars characterizes the activity of α -amylase, the activity of β -amylase is defined as the difference between the total activity and the activity of α -amylase.

The criterion of baker's flour baking quality was the quality of its gluten, which was determined by spreading a ball of 10 g of gluten after an hour of aging.

The effect of supplements purple amaranth on the whiteness of the flour was determined by determining the whiteness and color of the flour with different concentrations of additives on the device FPM-1.

Results. It has been experimentally established that supplements purple amaranth has good enzyme activity, which is confirmed by the high activity of the amylase complex: maltose number of 5 % aqueous extract of dried leaves PA — 12.31 ± 0.36 %, with the addition of CaCl_2 ($\text{Ca}^{2+} = 0.01$ g/l) — 16.0 ± 0.35 %. The obtained results testify to the prospects of using supplements purple amaranth to improve the baking qualities of wheat flour.

The required concentration of flour additive from dried PA leaves to wheat flour (1 %) for enrichment with biologically active substances, improvement of baking properties of flour and preservation of organoleptic characteristics was determined. The influence of different concentrations of supplements purple amaranth on the content of basic biologically active substances in wheat flour, gluten spread, whiteness and color of wheat flour color was studied.

Keywords: purple amaranth, yeast dough, wheat flour, bakery products, enzyme activity.

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-21-28

УДК 664.6(045)

*Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент*¹
*Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент*¹
*Єріс Ю. В., викладач професійно-теоретичної
підготовки*²
*Гусак Є. Р., здобувач ОС бакалавр*¹
*Домашук А. Є., здобувач освіти*²

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: Goryaynova@donnuet.edu.ua.

² Центр підготовки і перепідготовки робітничих кадрів № 1, Кривий Ріг, Україна.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОСЛИННИХ ДОБАВОК НА ЯКІСТЬ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

UDK 664.6(045)

*Goriainova Iu. A., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*¹
*Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*¹
*Yeris Yu. V., teacher of professional and theoretical
training*²
*Husak Y. R., a graduate of a bachelor degree*¹
*Domashuk A. Ye., student*²

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: Goryaynova@donnuet.edu.ua.

² Center for training and retraining of workers №1 city Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: erisulia1@gmail.com.

STUDY OF THE INFLUENCE OF VEGETABLE ADDITIVES ON THE QUALITY OF BAKERY PRODUCTS

Мета. Розробка технології хліба функціонального призначення шляхом внесення до рецептурного складу рослинних добавок (кві, топінамбур, цибуля-слизун) та визначення впливу цих добавок на якість хлібобулочних виробів.

Методи. В досліджуваних зразках хліба визначали найважливіші показники якості за ДСТУ 7045-2009 «Вироби хлібобулочні. Методи визначення фізико-хімічних показників».

Визначення вологи і сухих речовин здійснювали термогравіметричним методом за допомогою вологоміру. Хліб очистили від кірки, ретельно порізали ножем і перемішали. Вологість визначили паралельно в 2-х наважках кожного продукту, кінцевий результат виразили як середнє арифметичне значення двох проведених вимірювань. Попередньо приготували пакети зі знежиреного і безводневого паперу. Включили вологомір і нагріли його до 160 °С. Наважку подрібненого хліба (2–3 г) помістили в пакет і рівномірно розподілили її на внутрішній поверхні пакета (товщина шару не повинна перевищувати 2–3 мм). Пакети із продуктом швидко зважили на терезах і помістили між розігрітими плитами приладу. Включили таймер, попередньо виставлений на 3 хвилини. Після охолодження зразки зважили.

Кислотність та лужність зразків хліба визначали титриметричним методом аналізу. Для цього наважку подрібненої м'якушки хліба (25 г), розмістили у конічній колбі місткістю

Надійшла до редакції 10.04.2022 р.

© Ю. А. Горайнова, О. О. Сімакова, Ю. В. Єріс,
Є. Р. Гусак, А. Є. Домашук, 2022

500 мл з широкою шийкою та добре притертою пробкою. Потім відмірили 250 мл дистильованої води, підігрітої до 600. Близько 1/4 води від цього об'єму перелили до наважки хліба, яку швидко розтерли шпателем до отримання однорідної маси. Через декілька хвилин до одержаної маси прилили ту кількість води, що залишилась. Колбу закрили корком і енергійно струсили протягом 3 хвилин. Після цього суміш залишили у стані спокою впродовж 10 хвилин. Шар рідини, що відстоявся, обережно злили у склянку через марлю. Зі склянки відібрали 50 мл розчину в конічну колбу місткістю 100–150 мл, додали 2–3 краплі 1 % спиртового розчину фенолфталеїну і титрували 0,1 н. розчином натрій гідроксиду до появи блідо-рожевого забарвлення, яке не зникає у спокійному стані протягом 1 хвилини.

При встановленні лужності виріб ретельно роздрібнили в порцеляновій ступці. Перенесли наважку підготовленої проби (5–10 г) у конічну колбу, долили в неї 100 см³ дистильованої води, закрили колбу пробкою й залишили на 25 хвилин, перемішуючи кожні 5 хвилин. По закінченні екстракції вміст колби профільтрували в суху колбу, піпеткою перенесли 20 см³ фільтрату в колбу для титрування, додали декілька краплин індикатора бромтимолового синього у такій кількості, щоб розчин пофарбувався в синій колір. Титрували 0,1 н розчином хлоридної кислоти з мікробюретки до появи жовтого забарвлення.

Пористість визначали за відомим методом, який полягає в обчислюванні відношення об'єму пор м'якушки до загального об'єму м'якушки і виражають у відсотках. При цьому використовували прилад Журавльова.

Результати. Експериментально доведено, що вологість зразку хліба 1 становить 41,15%, вміст сухих речовин 58,85%. Для зразку хліба 2 відповідно 49,05% та 50,95%. Вологість зразків не перевищує показників нормативних документів. Кислотність зразка хліба 1 дорівнює 2,850, що також знаходиться в межах норми. Кислотність житнього хліба не повинна перевищувати 120, житньо-пшеничного — 110, пшеничного — 3–40. Лужність зразку хліба 2 (0,400) не перевищує 2,00 (границя за ДСТУ). Пористість зразків 1 та 2 відповідно становить 74 % та 59 %. Ці показники також не перевищують показників ДСТУ. Пористість житнього хліба має бути не менше 45–48 %, а пшеничного 63–72 %. Розроблені технології двох видів хліба функціонального призначення.

Ключові слова: функціональні продукти, хліб, хлібобулочні вироби, ківі, топінамбур, цибуля-слизун, бджолиний мед, якість, органолептичні та фізико-хімічні показники.

Постановка проблеми. Стан здоров'я людини майже на вісімдесят відсотків залежить від способу, раціону харчування. Корисним є вживання продуктів в певних співвідношеннях між основними компонентами в таких пропорціях 50% вуглеводи, 20% білки, 30% — жири. Приведення харчового раціону у відповідність до реальних фізіологічних потреб людини вимагає якісно нових підходів і рішень. У всьому світі працюють над проблемою здорового харчування, основним вирішенням якої є зниження споживання насичених жирів, цукру, солі при одночасному підвищенні споживання харчових волокон, мінеральних речовин, вітамінів, антиоксидантів тощо.

В нашій державі хлібобулочні вироби мають стратегічне значення, популярність їх призвела до розвитку хлібопекарської промисловості України. Попит на ринку хлібобулочних виробів зумовив задуматись над користю цієї продукції, щоб якість виробів постійно зростала, а енергетична, оздоровча та інша цінність продукції не лише задовольняла споживчий попит, але й формувала його. Важливо враховувати сумісність компонентів хлібобулочних виробів і харчових добавок за хімічним складом, смаковими властивостями, фізико-хімічними показниками, які впливають на функціонально-технологічні властивості готових виробів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Хліб і хлібобулочні вироби займають важливе місце в раціоні людини, тому поліпшення їх якості і харчової цінності постійно досліджуються науковцями. Вагомий внесок у створенні науково-практичних засад виробництва фізіологічно-функціональних харчових продуктів зробили такі вчені України: Л. Ю. Арсенєва, М. П. Гуліч, А. М. Дорохович, В. І. Дробот, К. Г. Іоргачева, В. Ф. Доценко, Л. І. Карнаушенко, Л. В. Капрельянц, М. Ф. Кравченко, В. М. Ковбаса, В. Н. Корзун,

Т. М. Лозова, В. Ю. Міцик, П. П. Пивоваров, Ф. В. Перцевий, Н. В. Притульська, Г. Б. Рудавська, І. В. Сирохман, А. І. Українець, В. І. Ципріян, Р. Ю. Павлюк, А. І. Черевко та ін. [1–3]. І нині досліджуються фізичні, біохімічні, мікробіологічні способи обробки основної сировини, застосування харчових добавок, препаратів, поліпшувачів з метою підвищення якості і збереження готової продукції [4–6]. Вчені кафедри технологій в ресторанный господарстві, готельно-ресторанної справи та підприємництва ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського також займаються створенням нових функціональних продуктів харчування, зокрема хлібобулочних [7–9].

Серед пріоритетних напрямів у створенні хлібобулочних виробів функціонального призначення є внесення до складу хліба: суміші з подрібнених круп'яних продуктів; висівок; текстурованого борошна; бобових культур; сої; молочних продуктів; мінералів і вітамінів у вигляді хімічних препаратів, преміксів; продуктів м'ясної і рибної промисловості; низькокалорійні підсоложувачі; різноманітні фрукти, овочі, плоди й продукти їх переробки; речовин, що містять інулін, цикорій і β -каротин, йоду; диспергованого (біоактивованого) зерна пшениці, жита, сої, гороху; біофлавоноїдів.

Хліб можна вважати перспективним продуктом для збагачення на есенціальні інгредієнти завдяки тому, що він є загальноживим і доступним за ціною. Надання виробам бажаних функціональних властивостей можливо шляхом цілеспрямованої оптимізації їх хімічного складу функціональними інгредієнтами.

Мета статті — дослідження впливу функціональних інгредієнтів (пюре з ківі, топінамбура й цибулі-слизуна, бджолиного меду) на органолептичні та основні фізико-хімічні показники якості хлібу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для створення технології хліба функціонального призначення обрали як добавки плоди ківі, бульби топінамбуру, цибулю-слизун, мед бджолиний.

Користь ківі була підтверджена численними експериментами. Вченим вдалося встановити, що речовини, які містяться у плодах, допомагають організму протистояти розвитку гіпертонії, серцевої недостатності, сприяє зміцненню судин та капілярів, при цьому зменшується ризик виникнення атеросклерозу та тромбозу, плоди можна вживати для профілактики застудних та вірусних захворювань. У ківі міститься велика кількість клітковини, що сприяє очищенню шлунково-кишкового тракту. Ківі є ефективним для здоров'я сечовивідної системи. Вміст вітамінів групи В, магнію значно знижує ризик виникнення депресії, підвищується стійкість нервової системи. Плоди можна використовувати для відновлення енергії після тривалих фізичних навантажень.

Бульби топінамбуру вміщують майже всі незамінні кислоти, пектинові речовини, макро- і мікроелементи (кремній, залізо, цинк, селен), комплекс вітамінів. Топінамбур має антиоксидантну активність, стабілізує рівень цукру в крові [10]. Земляна груша містить в собі пектин, що знижує рівень холестерину в організмі, поліпшує обмін речовин, нормалізує перистальтику кишечника. Топінамбур не здатний накопичувати в собі важкі метали. Вченими доведено, що харчові волокна позитивно впливають на виведення шлаків і шкідливих речовин з організму; наявний в складі топінамбура інулін — знижує кількість цукру в крові; клітковина бере участь в очищенні шлунково-кишкового тракту від шкідливих речовин, тим самим перешкоджає виникненню дисбактеріозу. Також до складу земляної груші входять органічні поліоксікислоти: лимонна, яблучна, малінова, бурштинова, фумарова. Вони складають від маси топінамбура в сухому вигляді 6–8%.

Цибуля-слизун (*Allium nutans*) — це невисока трав'яниста рослина. Листя рослини містять велику кількість слизу, яку видно при розломі. Коренева система у вигляді цибулини діаметром 2–3 см. Листя цибулі-слизун містять вітаміни: С (аскорбінова кислота), Е (токоферол) і РР (нікотинова кислота), Н (біотин), К, А (каротиноїди), В1 (тіамін), В2 (рибофлавін), В3 (пантотенова кислота), В6 (піродоксин), В9 (фолієва кислота), багато хлорофілу. З макро- і мікроелементів в ньому містяться калій, кальцій, натрій, магній, сульфур, фосфор, хлор, бор, хром, манган, цинк, йод, фтор, залізо, нікель і молібден. Завдяки фітонцидам, флавоноїдам й невеликому вмісту ефірної олії, цибуля-слизун має приємний слабо-

гострий смак і часниковий аромат. Цукри представлені глюкозою, сахарозою, фруктозою і мальтозою. Рослина містить лимонну і яблучну кислоти, полісахарид інулін, жири.

Відомо, що бджолиний мед — корисний продукт харчування. Під час лабораторних досліджень вченими було виявлено близько 400 необхідних компонентів для життя людини. До складу меду входять мінеральні речовини, мікроелементи, вітаміни, вуглеводи, білки, ферменти. Глюкоза і фруктоза в процесі розщеплення виділяють багато енергії, яка необхідна людині. Компоненти меду засвоюються організмом на 97–98%, в результаті чого покращується процес травлення. Дослідниками було виявлено високу ефективність меду в уповільненні росту пухлин *in vitro* [11]. До складу меду входять і біологічно активні фенольні речовини (антоціани, лейкоантоціани, флавоноли, катехіни), які підвищують міцність і еластичність стінок кровоносних капілярів та сприяють активації вітаміну С, володіють протизапальною і протиатеросклеротичною дією.

На першому етапі експериментальних досліджень було зроблено вибір раціонального дозування хліба функціональними інгредієнтами. Розглядали наступні зразки пюре як функціональні добавки: № 1 — ківі, цибуля-слизун, топінамбур в сирому вигляді; № 2 — ківі, цибуля-слизун, топінамбур, який піддавався тепловій обробці (запікання). В табл. 1 та 2 наведені витрати та рецептура пюре.

Таблиця 1 — Витрати та рецептура для приготування пюре з ківі, топінамбура, цибулі-слизун (зразок пюре № 1)

Назва продукту	Назва сировини	Рецептура, кг на 1 порцію масою брутто	Втрати та відходи сировини, %	Норма витрат сировини, кг на порцію масою нетто
Зразок пюре № 1	Ківі	0,075	33,34	0,050
	Топінамбур	0,066	24,25	0,050
	Цибуля-слизун	0,007	28,56	0,005
	Сіль	0,010	—	0,010

Таблиця 2 — Витрати та рецептура для приготування пюре з ківі, запеченого топінамбура, цибулі-слизун (зразок пюре № 2)

Назва продукту	Назва сировини	Рецептура, кг на 1 порцію масою брутто	Втрати та відходи сировини, %	Норма витрат сировини, кг на порцію масою нетто
Зразок пюре № 2	Ківі	0,075	33,34	0,050
	Топінамбур запечений	0,112	27,67	0,050
	Цибуля-слизун	0,007	28,56	0,005
	Сіль	0,010	—	0,010

Органолептичні показники двох зразків пюре визначались за 5-бальною шкалою. Результати наведені на рис. 1.

Були зроблені пробні випікання хліба із внесення до рецептури тіста пюре в кількості 10%, 20%, 30% від загального вмісту. Встановлено, що лише при додаванні до рецептури 10% пюре органолептичні хліба не погіршувались.

Під час теплової обробки топінамбура, відбулось потемніння його м'якоти, яке викликане дією нативних ферментів сировини, зокрема поліфенолоксидази, яка каталізує окиснення моно- та ортодифенолів до хіонів і при подальшому окисненню перетворюється у пігменти коричневого кольору. Для попередження ферментативного потемніння необхідно провести було інактивацію поліфенолоксидази. Плоди ківі, цибуля-слизун мають в своєму складі кислоти, тому вони стали інгібітором ферментів під час приготування пюре із сирих інгредієнтів. Отже, високі показники якості пюре притаманні масі, яка була виготовлена з продуктів, що не піддавалися тепловій обробці. Це сприяло збереженню кольору й поживних речовин в готовій масі.

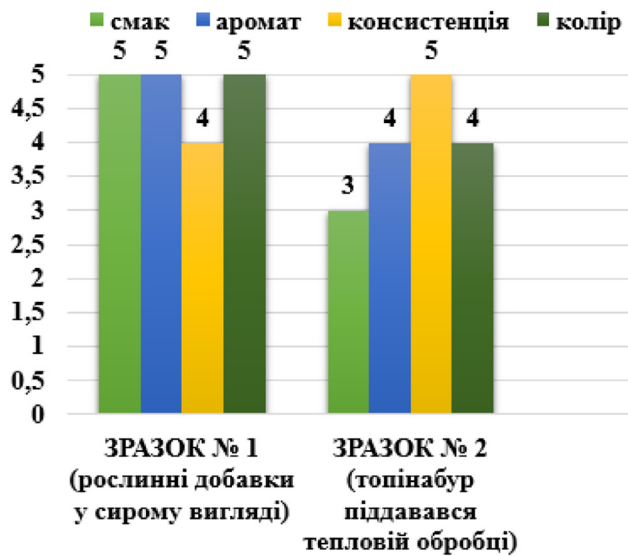


Рисунок 1 — Органолептичні показники якості пюре з ківі, топінамбура, цибулі-слизун

До рецептури хліба, окрім пюре масою 100 г, було додано бджолиний мед у співвідношенні до загальної рецептури 3 % (30 г), 5 % (50 г), 10 % (100 г).

В результаті пробного випікання було виявлено, що добавка меду 5 % і 10 % призвела до отримання зниженого об'єму і поганої розпушеності виробів, більш темного кольору, сильного солодкого смаку, а 3 % бджолиного меду не погіршує органолептичні властивості хліба, готовий виріб має помірний солодкий смак.

Наступним етапом наших досліджень стало визначення органолептичних показників якості готових хлібобулочних виробів з функціональними добавками. Були приготовлені чотири види хліба: зразок № 1 (контроль, дріжджовий хліб, без функціональних добавок), зразок № 2 (контроль, бездріжджовий хліб, без функціональних добавок), зразок № 3 (хліб дріжджовий «Смачний день», з добавками ківі, топінамбуру, цибулі-слизуна та меду), зразок № 4 (хліб бездріжджовий «Збалансований ранок» з добавками ківі, топінамбуру, цибулі-слизуна та меду). Органолептичну оцінку якості хліба проводили за 5 бальною шкалою. Результати наведено на рис. 2. Дані свідчать, що зразки хліба № 3 та № 4 переважають відповідні контрольні за смаком та запахом.

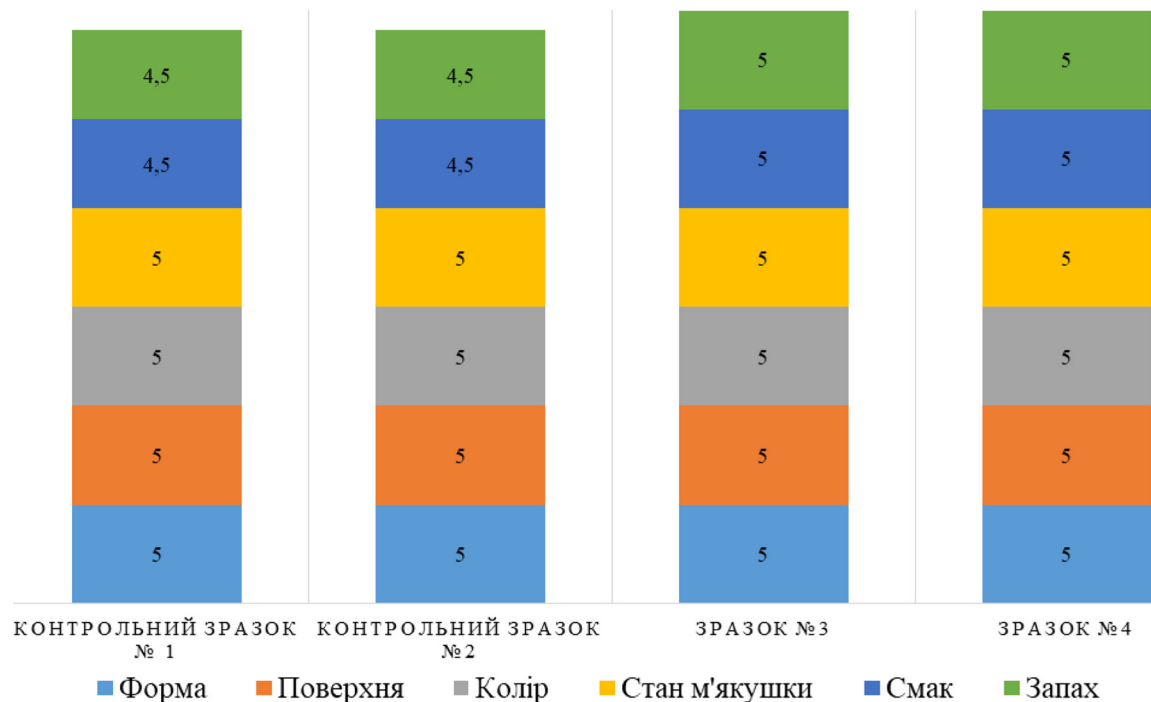


Рисунок 2 — Органолептична оцінка якості зразків хліба з функціональними добавками

Після органолептичної оцінки нами було проведено визначення основних фізико-хімічних показників якості розроблених зразків хліба з функціональними добавками, а саме: вологи, сухих речовин, кислотності, лужності, пористості м'якучки хліба. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3 — Основні фізико-хімічні показники зразків хліба з добавками ківі, топінамбура, цибулі-лизуна та меду

Продукт	Вологість, %	Сухі речовини, %	Кислотність К ⁰ ,	Лужність Л ⁰ ,	Пористість П, %
Хліб дріжджовий «Смачний день»	41,15	58,85	2,85	—	74
Хліб бездріжджовий «Збалансований ранок»	49,05	50,95	—	0,40	59

Дані табл. 3 свідчать про те, що вологість зразків не перевищує показників нормативних документів. Серед різних хлібних виробів вища вологість у житніх сортів хліба (48–51 %), а нижча — у пшеничних з борошна високої якості (43–45 %). Кислотність зразка хліба дріжджового «Смачний день» дорівнює 2,850, що також знаходиться в межах норми. Кислотність житнього хліба не повинна перевищувати 120, житньо-пшеничного — 110, пшеничного — 3–40. Лужність зразку хліба бездріжджового «Збалансований ранок» (0,400) не перевищує 2,00 (границя за ДСТУ). Пористість зразків хліба за методикою ДСТУ 7045:2009 відповідно становить 74 % та 59 %. Ці показники також не перевищують показників ДСТУ. Пористість житнього хліба має бути не менше 45–48 %, а пшеничного — 63–72 %.

Висновки. Проведені експериментальні дослідження щодо вивчення впливу рослинних добавок (ківі, топінамбур, цибуля-слизун) на основні фізико-хімічні та органолептичні показники готових виробів підтверджують, що якість хліба за розробленою технологією не погіршується. Навпаки продукція збагачується мінеральними та пектиновими речовинами, вітамінами, харчовими кислотами, що дає змогу використовувати такий хліб як функціональний продукт харчування.

Список літератури

1. Дробот В. І. та ін. Інноваційні технології дієтичних та оздоровчих хлібобулочних виробів : монографія / за ред. чл.-кор. НААН В. І. Дробот. К. : Кондор-Видавництво, 2016. 242 с.
2. Йоргачова К. Г. Хлібобулочні вироби оздоровчого призначення з використанням фітодобавок : монографія. Київ : К-Прес, 2015. 464 с.
3. Погарская В. В. и др. Новые технологии функциональных оздоровительных продуктов : монография. Харьков, 2007. 262 с.
4. Іваніщева О. А., Пахомська О. В. Тенденції формування якості хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Молодий науковець. Технічні науки*. 2021. № 5 (93). С. 159–163.
5. 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.
6. Ярошевич Т. С., Ярошевич О. М. Сучасні тенденції у формуванні якості хлібобулочних виробів. *Товарознавчий вісник*. 2013. № 6. С. 258–262.
7. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями : монографія. Кривий Ріг : ДонНУЕТ. 2018. 146 с.
8. 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.
9. 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. Vol. 2. Issue 11 (92). P. 57–64. doi:10.15587/1729–4061.2018.127173.

10. Касіянчук В. Д. Ефективність переробки топінамбура на продукцію лікувально-профілактичного призначення. *Науково-інформаційний вісник Івано-Франківського університету права імені Короля Данила Галицького*. 2015. № 11. С. 353–356.

11. Залесский В. Н., Великая Н. В. Пчелиный мед и прополис — продукты пчеловодства: противоопухолевые иммуномодуляторы с противовоспалительными и антиоксидантными свойствами. *Проблемы харчування*. 2013. № 2. С. 35–47.

References

1. Drobot, V. I. (2016). *Innovatsiini tekhnologii diietychnykh ta ozdorovchykh khlibobulochnykh vyrobiv* [Innovative technologies of dietary and health bakery products]. Kyiv, Kondor Publ., 242 p.

2. Iorhachova, K. H. (2015). *Khlibobulochni vyrobny ozdorovchoho pryznachennia z vykorystanniam fitodobavok* [Bakery products for health purposes with the use of herbal supplements]. Kyiv, K-Press Publ., 464 p.

3. Pogarskaya, V. V. (2007). *Novye tekhnologii funktsional'nykh ozdorovitel'nykh produktov* [New technologies of functional health products]. Kharkiv, 262 p.

4. Ivanishcheva, O. A., Pakhomskaya, O. V. (2021). *Tendentsii formuvannia yakosti khlibobulochnykh vyrobiv funktsionalnoho pryznachennia* [Trends in the formation of the quality of functional bakery products]. *Young Scientist. Tekhnichni nauky* [Young Scientist. Technical Sciences], issue № 5 (93), pp. 159–163.

5. 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 tekhnologii* [Scientific Works of Odessa National Academy of Food Technologies], issue 38(2), pp. 173–178.

6. Yaroshevych, T. S., Yaroshevych, O. M. (2013). *Suchasni tendentsii u formuvanni yakosti khlibobulochnykh vyrobiv* [Modern trends in the formation of the quality of bakery products]. *Tovaroznavchyi visnyk* [Commodity Bulletin], vol. 6, pp. 258–262.

7. Simakova, O. O., Nykyforov, R. P. (2018). *Rozrobka novitnikh tekhnologii vyrobiv z boroshna s zadanyimi vlastyvostiamy* [Development of the newest technologies of products from flour with the set properties]. Kryvyi Rih, DonNUET Publ., 146 p.

8. Goryaynova, Yu. A., Simakova, O. O., Kuchma, A. Yu., Moroz, V. O. (2020). *Tehnologiya virobiv iz pshenichnogo boroshna likuvalno-profilaktichnogo pryznachennia iz vikoristanniam shovkovitsi* [Technology of products from wheat flour of medical and preventive appointment with use of mulberry]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovykh virobnitstv* [Equipment and technology of food production], issue 2 (41), pp. 12–18.

9. 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*, vol. 2, issue 11 (92), pp. 57–64. doi:10.15587/1729–4061.2018.127173.

10. Kasianchuk, V. D. (2015). *Efektivnist pererobky topinambura na produktsiiu likuvalno-profilaktychnoho pryznachennia* [The effectiveness of Jerusalem artichoke processing into products for therapeutic and prophylactic purposes]. *Naukovo-informatsiinyi visnyk Ivano-Frankivskoho universytetu prava imeni Korolia Danyla Halytskoho* [Scientific and Information Bulletin of Ivano-Frankivsk University of Law named after King Danylo Halytsky], issue № 11, pp. 353–356.

11. Zaleskyi V. N., Velykaia N. V. (2013). *Pchelinij med i propolis — produkty pchelovodstva: protivopuholevye immunomodulyatory s protivovospalitel'nymi i antioksidantnymi svojstvami* [Bee honey and propolis — beekeeping products: antitumour immunomodulator with anti-inflammatory and antioxidant properties]. *Problemy kharchuvannia* [Problems of nutrition], issue № 2, pp. 35–47.

Objective. *Development of functional bread technology by adding vegetable additives (kiwi, Jerusalem artichoke, onion-slizun) to the prescription composition and determining the impact of these additives on the quality of bakery products.*

Methods. *In the studied samples of bread determined the most important quality indicators according to DSTU 7045-2009 “Bakery products. Methods for determining physico-chemical parameters”.*

Determination of moisture and dry matter was carried out by thermogravimetric method using a hygrometer. The bread was peeled, carefully cut with a knife and mixed. Humidity was determined in parallel in 2 samples of each product, the final result was expressed as the arithmetic mean of the two measurements. Pre-prepared bags of degreased and anhydrous paper. We turned on the hygrometer and heated it to 1600 C. A portion of crushed bread (2–3 g) was placed in a bag and evenly distributed on the inner surface of the package (the thickness of the layer should not exceed 2–3 mm). The product packages were quickly weighed on the scales and placed between the heated plates of the appliance. Turned on the timer, pre-set for 3 minutes. After cooling, the samples were weighed.

The acidity and alkalinity of bread samples were determined by titrimetric analysis. To do this, a portion of crushed bread crumbs (25 g) was placed in a 500 ml conical flask with a wide neck and a well-ground cork. Then measured 250 ml of distilled water heated to 600. About 1/4 of the water was poured into a piece of bread, which was quickly ground with a spatula until smooth. After a few minutes, the remaining amount of water was added to the resulting mass. The flask was capped and shaken vigorously for 3 minutes. The mixture was then left to stand for 10 minutes. The remaining layer of liquid was carefully poured into a glass through gauze. From the beaker was taken 50 ml of solution in a conical flask with a capacity of 100–150 ml, added 2–3 drops of 1 % alcohol solution of phenolphthalein and titrated with 0.1 n sodium hydroxide solution until a pale pink color that does not disappear at rest for 1 minute.

When the alkalinity was established, the product was carefully ground in a porcelain mortar. Transfer a portion of the prepared sample (5–10 g) to a conical flask, add 100 cm³ of distilled water, close the flask with a stopper and leave for 25 minutes, stirring every 5 minutes. After extraction, the contents of the flask were filtered into a dry flask, pipetted 20 cm³ of filtrate into a titration flask, and added a few drops of bromothymol blue indicator in such an amount that the solution turned blue. Titrated with 0.1 n hydrochloric acid solution from the microburette until yellow.

The porosity was determined by a known method, which consists in calculating the ratio of the pore volume of the crumb to the total volume of the crumb and is expressed as a percentage. Zhuravlev’s device was used.

Results. *It is experimentally proved that the humidity of the sample of bread 1 is 41.15 %, dry matter content of 58.85 %. For bread sample 2, 49.05 % and 50.95 %, respectively. Humidity of samples does not exceed indicators of regulatory documents. The acidity of the sample of bread 1 is equal to 2,850, which is also within normal limits. The acidity of rye bread should not exceed 120, rye-wheat — 110, wheat — 3–40. The alkalinity of the sample of bread 2 (0.40) does not exceed 2,00 (limit according to DSTU). The porosity of samples 1 and 2 is 74 % and 59 %, respectively. These indicators also do not exceed the indicators of DSTU. The porosity of rye bread should be at least 45–48 %, and wheat 63–72 %. Technologies of two types of functional bread have been developed.*

Key words: *functional products, bread, bakery products, kiwi, Jerusalem artichoke, onion-sli-zun, bee honey, quality, organoleptic and physicochemical parameters.*

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-29-36

УДК 681.5:664.84'85(045)

Омельченко О. В., канд. техн. наук¹

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹

Лученчин М. С., здобувач ОС бакалавр¹

Баландіна С. В., здобувач ОС бакалавр¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ АПАРАТУ З КОНСЕРВУВАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

УДК 681.5:664.84'85(045)

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹

Luchenchin M. V., a graduate of a bachelor degree¹

Balandina S. V., a graduate of a bachelor degree¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, , e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

MODEL OF THE AUTOMATED HEAT TREATMENT SYSTEM FOR THE DEVICE FOR CANNING FRUIT AND VEGETABLE RAW

Мета. Метою статті є удосконалення моделі автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини.

Методи. У роботі для удосконалення моделі автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливило формування оптимальних значень впливів управління задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами застосовано статистичні методи, а також математичні методи, що описують зміни в текстурі оброблюємої сировини під час теплової обробки.

Результати. Зазначено, що овочі та фрукти є важливими компонентами для збалансованого та здорового харчування, забезпечують організм мінералами та харчовими волокнами. Речовини, що містяться в овочах, такі як флавоноїди, феноли та каротиноїди запобігають дефіциту вітамінів та знижують ризик розвитку різних видів раку, серцево-судинних захворювань, діабету. Однак овочі швидко псуються і потребують відповідного консервування, тобто технології для продовження терміну зберігання із збереженням поживних й сенсорних якостей. Задля збереження плодовоовочевої сировини необхідно призупинити розвиток мікроорганізмів за допомогою термічної обробки, яка сповільнює бактеріальну та ферментну активність. Вважається, що навіть м'який термічний процес має тенденцію спричиняти значну втрату кольору та зміни в текстурі, смаку та потенційно поживної цінності. Сконцентровано увагу на тому, що комбінація часу та температури, пов'язана з конкретним процесом пастеризації, значною мірою контролюватиме хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуватимуться у харчовому продукті. Зміна співвідношення часу та температури може впливати як на бажані, так і на небажані реакції, що відбуваються під час пастеризації, наприклад, потемніння овочів. Аналіз дав змогу стверджувати, що серед зовнішніх чинників температура є найважливішим чинником для забезпечення якості у виробництві та подальшому зберіганні сировини. Сконцентровано увагу на тому, що ефективність виробництва може бути покращена за допомогою АСУТП та контролю показників якості

Надійшла до редакції 10.03.2022 р.

© О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун,
М. С. Лученчин, С. В. Баландіна, 2022

вихідного продукту, що дозволить оцінити якість вихідного продукту масообмінного технологічного процесу без встановлення додаткових поточкових аналізаторів (фізичних датчиків), які вимагають постійного калібрування. Запропоновано удосконалену модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливує формування оптимальних значень управляючих впливів задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами.

Ключові слова: тепла обробка, технологічні процеси, консервування, автоматизація, плодовоовочева сировина, пастеризація, стерилізація, бланшування.

Постановка проблеми. Овочі та фрукти є важливими компонентами для збалансованого та здорового харчування, забезпечують організм мінералами та харчовими волокнами. Речовини, що містяться в овочах, такі як флавоноїди, феноли та каротиноїди запобігають дефіциту вітамінів та знижують ризик розвитку різних видів раку, серцево-судинних захворювань, діабету. Однак овочі швидко псуються і потребують відповідного консервування, тобто технології для продовження терміну зберігання із збереженням поживних й сенсорних якостей. Задля збереження плодовоовочевої сировини необхідно призупинити розвиток мікроорганізмів за допомогою термічної обробки, яка сповільнює бактеріальну та ферментну активність. Проте навіть м'який термічний процес має тенденцію спричиняти значну втрату кольору та зміни текстури, смаку та потенційно поживної цінності.

Найпростішим і найефективнішим засобом зберігання значної частини овочів та фруктів є консервування за допомогою термічної обробки для отримання безпечного та смачного продукту. Термічна переробка консервованих харчових продуктів — застосування тепла при заданій температурі протягом певного часу. Основною метою термічного процесу є забезпечення високоякісної їжі шляхом знищення мікроорганізмів, що відбувається за певної залежності температури та часу витримки при такій температурі.

Термічна обробка передбачає нагрівання харчового продукту при температурах від 50 до 150 °С. Включає пастеризацію (65–85 °С), стерилізацію (110–121 °С), термічну попередню обробку (бланшування), що проводиться перед заморожуванням та консервуванням для знищення бактерій та ферментів [1, 3]. Пастеризація — найпоширеніший процес теплового впливу, яка полягає в нагріванні до певної температури та витримці при даній температурі певного часу [2, 10]. Від значення температури та часу витримки залежить термін зберігання плодовоовочевої сировини.

Відповідно, контроль показників якості вихідного продукту у процесі термічної обробки забезпечить можливість контролювати зміну текстури для покращення споживчої цінності, стабілізацію кольору, смакових якостей та збереження важливих поживних речовин та біологічно активних сполук.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ефективність виробництва може бути покращена за допомогою АСУТП та контролю показників якості вихідного продукту. Для цього потрібна розробка більш точних математичних моделей для оцінки показників якості (ММОПК) вихідних продуктів для підсистеми АСУТП, що описують нелінійні процеси [8]. Для моделювання змін якості, що відбуваються у харчових продуктах під час термічної обробки часто використовуються прогностичні моделі. Використання статистичних методів для створення математичної моделі для оцінки показників якості вихідних змінних об'єкта з урахуванням поточних значень вхідних змінних, забезпечить можливість у реальному часі точно передбачати вихідні значення об'єкта, що моделюється за рахунок цього можливе помітне підвищення його ефективності.

Так, для наявних p вхідних змінних X_i , $i = 1, \dots, p$ виходу Y , модель буде описуватись функціональною залежністю

$$Y = F(X, B) + \varepsilon,$$

де $X = (X_1, \dots, X_p)$ — вектор вхідних контрольованих технологічних змінних; $B = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$ — вектор коефіцієнтів; ε — похибка вимірювання вихідної змінної.

Відбір вхідних змінних, що впливають на значення кінцевого продукту та вибір структури адекватної моделі здійснюється на основі регресійного аналізу. Однак для нелінійних об'єктів часто виникають проблеми, пов'язані з вибором структури моделі. Нелінійність призводить до неоднозначності отримання оцінок невідомих параметрів моделі, коли одній і тій же вибірці експериментальних даних однаково добре відповідає не одна, а одразу безліч моделей $F(X, B)$. Відповідно, необхідна низка характеристик, що охоплюють сенсорні властивості (зовнішній вигляд, текстура, колір), поживні цінності, наявність або відсутність певних хімічних компонентів, функціональні властивості та дефекти.

На рис. 1 представлено моделювання термічних процесів та взаємозв'язок зовнішніх та внутрішніх чинників, які впливають на якість та безпеку пастеризованих харчових продуктів [6, 9]. Комбінація часу та температури, пов'язана з конкретним процесом теплової обробки, значною мірою контролюватиме хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуватимуться у харчовому продукті. Зміна співвідношення часу та температури може впливати як на бажані, так і на небажані реакції, що відбуваються під час пастеризації, наприклад, потемніння овочів. Серед зовнішніх чинників температу-



Рисунок 1 — Вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на процес термічної обробки

ра є найважливішим чинником для забезпечення якості у виробництві та подальшому зберіганні сировини.

У процесі теплової обробки продукт міститься в герметично закритій тарі та піддається обробці при відповідній температурі протягом певного часу, який є достатнім для знищення всіх організмів, що можуть негативно впливати на здоров'я споживача. Термічна обробка знищує більш стійкі організми, які можуть призвести до псування при нормальних умовах зберігання. Одним з технологічних обладнань для цієї операції є реторти — закриті посудини під тиском, які використовують пару із зовнішнього джерела, наприклад, парові котли або парогенератори (рис. 2). Реторти, що працюють із надлишковим тиском, включають парові/повітряні реторти, воду, розпилення води та занурення у воду [4, 9, 10]. Незалежно від того, який тип ретортної системи використовується на консервному підприємстві, обладнання має забезпечувати досягнення і підтримування рівномірної температурної обробки контейнера під час термічної обробки, а також час, коли реторта досягає робочої температури, має бути також відомим.

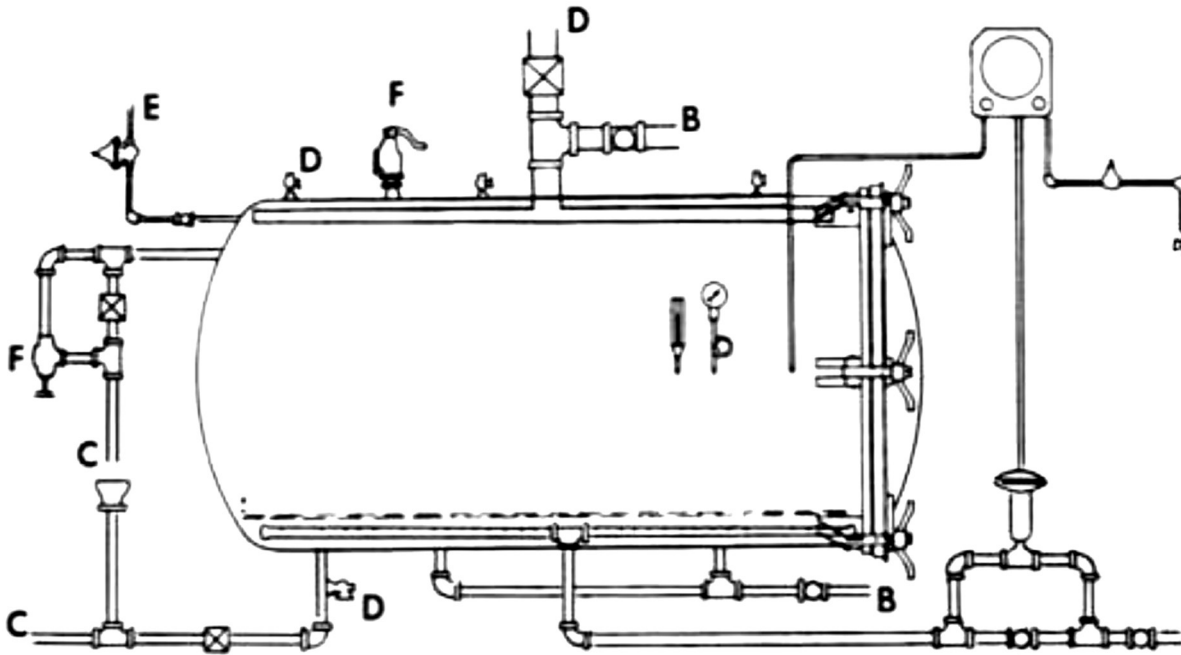


Рисунок 2 — Реторта: А — пара, В — вода, С — злив, D — вентиляційні отвори, Е — повітря, F — запобіжний клапан.

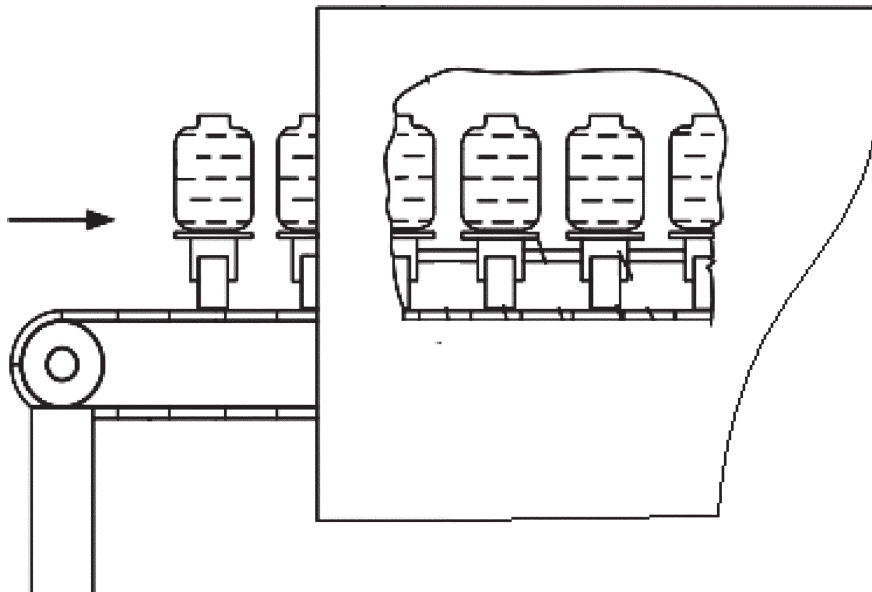


Рисунок 3 — Апарат для нагрівання плодовоовочевої сировини

Для вимірювання температури в корпусі реторти вмонтований термометр, який розміщують подалі від ємностей і теплоносія. Датчики температури або термопари розташовані між контейнерами по всьому завантаженню реторти та постійно контролюються під час термічної обробки, щоб переконатися, що прилад для індикації температури або скляний ртутний термометр для реторти є репрезентативними для температури всередині реторти.

Мета статті — удосконалення моделі автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Застосування тепла до свіжих овочів може призвести до серйозного погіршення якості, включаючи зміну кольору та текстури, втрату поживних речовин. Тектурні зміни, що відбуваються у харчових продуктах під час термічної обробки призводять для розм'якшення тканин із-за фізичних та хімічних змін.

Так, Різві та Тонг запропонували математичну модель, що описує зміни в текстурі оброблюваної сировини під час термічної обробки [5]. Індекс текстури f виражений як ступінь зміни текстури в будь-який час t та виражається наступним чином

$$f = \ln \frac{(TP - TP_t)}{(TP_0 - TP_\infty)}, \quad (1)$$

де TP_0 — вихідна властивість текстури в нульовий час; TP_t — властивість текстури в даний момент часу t ; TP_∞ — властивість текстури ненульової рівноваги після тривалого нагрівання.

Левеншпіль запропонував математичну модель, яка описує зміни в текстурі оброблюваної сировини під час термічної обробки для кінетики реакції 1-го порядку ($1-f$) побудованої проти часу (t) та вважав її лінійною, а константу швидкості (k) негативною величиною нахилу [7]. Рівняння має наступний вигляд

$$\ln(1-f) = \ln \frac{(TP - TP_t)}{(TP_0 - TP_\infty)} = -kt. \quad (2)$$

Для прогнозування індексу текстури як функцію часу нагріву (t) при постійній температурі залежність має вигляд

$$TP_t = TP_\infty - TP_\infty \cdot \exp(-k \cdot t). \quad (3)$$

Зміни в текстурі оброблюваної сировини під час термічної обробки різних овочів значно різняться.

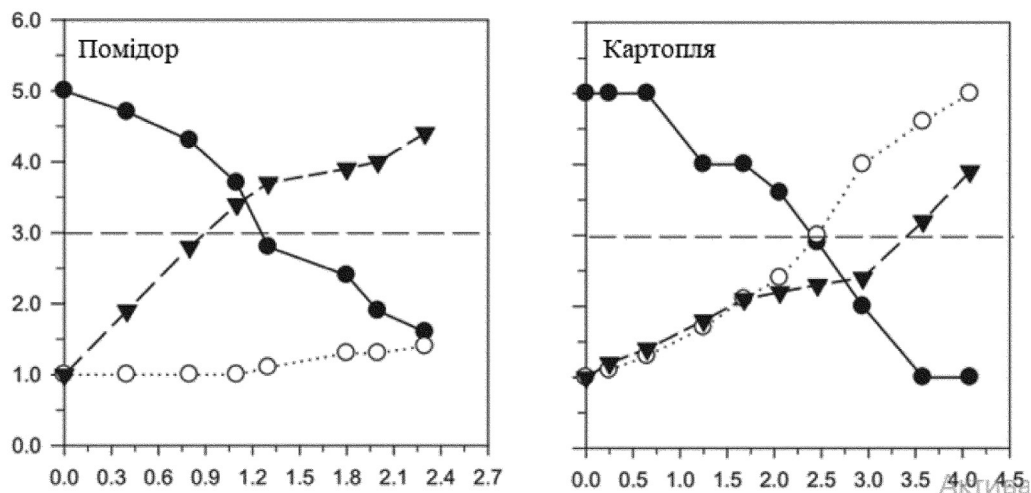


Рисунок 4 — Зміни текстури оброблюваної сировини під час термічної обробки:

--- — межа прийнятності; ● — зовнішній вигляд; ○ — зморщування;
▼ — зміни кольору.

У зв'язку з постійним підвищенням вимог до якості вихідного продукту (колір, зовнішній вигляд, аромат, смак) підприємства харчової промисловості змушені безперервно підвищувати економічну ефективність виробництва та якість продукції, що випускається. Ефективність виробництва може бути покращена за допомогою систем АСУТП та контролю показників якості вихідного продукту. Для цього потрібна розробка більш точних математичних моделей для оцінки показників якості вихідних продуктів для підсистеми АСУТП, що описують нелінійні процеси та дає змогу оцінити якість вихідного продукту масообмінного технологічного процесу без встановлення додаткових потокових аналізаторів (фізичних датчиків), які вимагають постійного калібрування.

Запропоновано удосконалену модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливорює формування оптимальних значень управляючих впливів задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами.

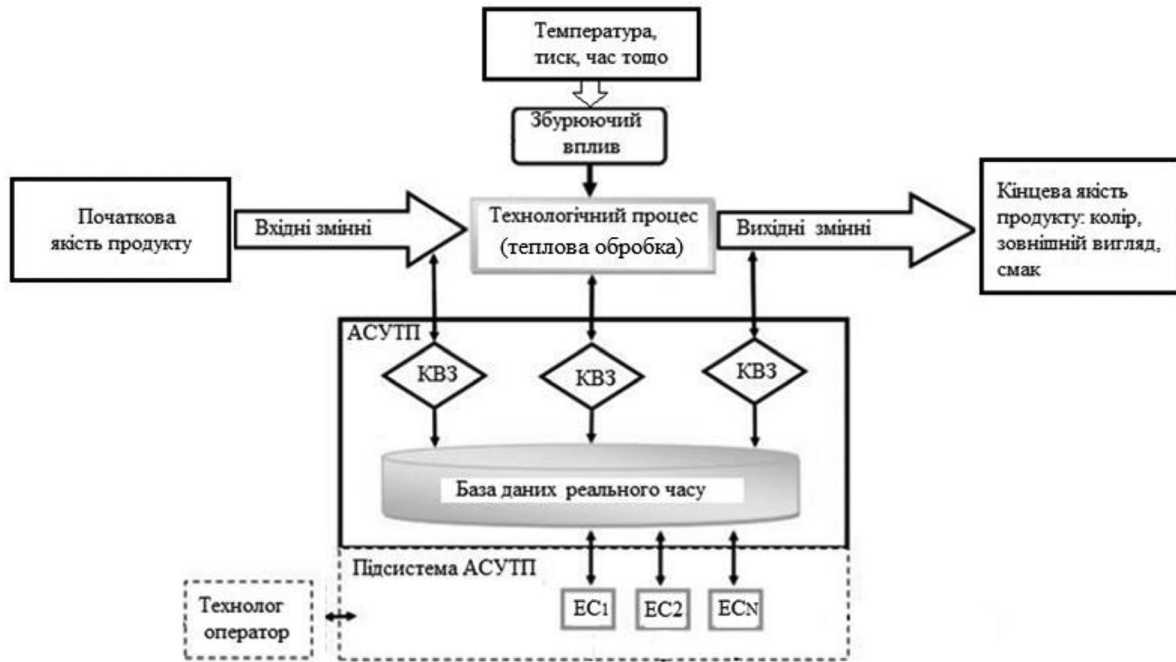


Рисунок 5 — Модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини:

АСУТП — автоматизованої системи управління технологічним процесом (теплова обробка плодовоовочевої сировини); КВЗ — контрольно-вимірювальні засоби; ЕС — експертний сигнал.

Висновки. Зазначено, що комбінація часу та температури, пов'язана з конкретним процесом термічної обробки плодовоовочевої сировини, значною мірою контролюватиме хімічні, біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуватимуться у харчовому продукті. Зміна співвідношення часу та температури може впливати як на бажані, так і на небажані реакції, що відбуваються під час пастеризації, наприклад, небажане потемніння овочів. Серед зовнішніх чинників температура є найважливішим чинником для забезпечення якості у виробництві та подальшому зберіганні овочів та фруктів.

Констатовано, що ефективність виробництва може бути покращена за допомогою АСУТП та контролю показників якості вихідного продукту, що дозволить оцінити якість вихідного продукту масообмінного технологічного процесу без встановлення додаткових потокових аналізаторів (фізичних датчиків), які вимагають постійного калібрування. Запропоновано удосконалену модель автоматизованої системи теплової обробки для апарату з консервування плодовоовочевої сировини, що уможливило формування оптимальних значень управляючих впливів задля підвищення якості вихідного продукту з мінімальними енергетичними та економічними витратами.

Список літератури

1. Predicting the quality of pasteurized vegetables using kinetic models: a review. URL: <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2013/271271>.
2. Sterilization in food industry. URL. http://wiki.zero-emissions.at/index.php?title=Sterilization_in_food_industry.
3. Jing Peng, Juming Tang. Thermal pasteurization of vegetables: critical. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. Vol. 10. P. 430–440.
4. Ibrahim M., Ismail Alaa Fahmy, Ahmed Azab. Optimizing the sterilization process of canned food using temperature distribution studies. *Journal of agriculture and veterinary science*. 2013. Vol. 6. P 26–33.
5. Rizvi A. F and Tong C. H. Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables. *Journal of food science*. 2018. Vol. 62. P. 1–7.

6. Maesmans G., Hendrickx M., Weng Z. Endpoint definition, determination and evaluation of thermal processes in food preservation. *Belgian journal of food chemistry and biotechnology*. 2019. Vol. 45. P. 179–192.
7. Levenspiel O. Chemical reaction engineering. New York: USA. 2016. 450 p.
8. Бойко І. В., Петрик М.Р. Математичне моделювання в науково-технічних дослідженнях. Тернопіль: ТНТУ, 2017. 110 с.
9. Гладушняк О. К. Технологічне обладнання консервних заводів. Херсон: Грінь. 2015. 470 с.
10. Гончаренко Г. М. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв: довідник. К. : Центр навч. літ., 2007. 200 с.

References

1. *Prohnozuvannya yakosti pasteryzovanykh ovochiv za dopomohoyu kinetychnykh modeley: ohlyad* [Predicting the quality of pasteurized vegetables using kinetic models]. Access mode: <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2013/271271>.
2. *Sterylyzatsiya v kharchoviy promyslovosti* [Sterilization in food industry]. Access mode: http://wiki.zero-emissions.at/index.php?title=Sterilization_in_food_industry.
3. Jing, Peng, Juming, Tang (2015). *Termichna pasteryzatsiya ovochiv: krytychno* [Thermal pasteurization of vegetables: critical]. *Krytychni ohlyady v haluzi kharchovoyi nauky ta kharchuvannya* [Critical reviews in food science and nutrition], vol. 10, P. 430–440.
4. Ibrahim, M., Ismail, Alaa Fahmy, Ahmed, Azab (2013). *Optyimizatsiya protsesu sterylyzatsiyi konserviv za dopomohoyu doslidzhen' rozpodilu temperatury* [Optimizing the sterilization process of canned food using temperature distribution studies]. *Zhurnal sil's'koho hospodarstva ta veterynariyi* [Journal of agriculture and veterinary science], vol. 6, pp. 26–33.
5. Rizvi, A. F and Tong, C. H. (2018). *Drobove peretvorenniya dlya vyznachennya kinetyky dehradatsiyi tekstury ovochiv* [Fractional conversion for determining texture degradation kinetics of vegetables]. *Zhurnal kharchovoyi nauky* [Journal of food science], vol. 62, pp. 1–7.
6. Maesmans, G., Hendrickx, M., Weng, Z. (2019). *Vyznachennya kintsevoyi tochky, vyznachennya ta otsinka teplovykh protsesiv u konservuvanni kharchovykh produktiv* [Endpoint definition, determination and evaluation of thermal processes in food preservation]. *Bel'hiys'ky zhurnal kharchovoyi khimiyi ta biotekhnolohiyi* [Belgian journal of food chemistry and biotechnology], vol. 45, pp. 179–192.
7. Levenspiel, O. (2016). *Inzheneriya khimichnykh reaktsiy* [Chemical reaction engineering]. New York: USA. 450 p.
8. Boyko, I. V., Petrik, M. R. (2017). *Matematychni modelyuvannya v naukovo-tekhnichnykh doslidzhennyakh* [Mathematical modeling in scientific and technical research]. Ternopil: TNTU, 110 p.
9. Gladushnyak, O. K. (2015). *Tekhnolohichne obladnannya konservnykh zavodiv* [Technological equipment of canneries]. Kherson, Green Publ., 470 p.
10. Honcharenko, H. M. (2007). *Tekhnolohichne obladnannya konservnykh ta ovochepererobnykh vyrobnystv* [Technological equipment for canning and vegetable processing industries]. Kyiv, Learning center lit., 200 pp.

Objective. The purpose of the article is to improve the model of an automated heat treatment system for canned fruit and vegetable raw materials.

Methods. In order to improve the model of an automated heat treatment system for a device for preserving fruit and vegetable raw materials, which allows the formation of optimal values of control actions to improve the quality of the initial product with minimal energy and economic costs, statistical methods are used, as well as mathematical methods that describe changes in the texture of the processed raw materials during heat treatment.

Results. It is noted that vegetables and fruits are important components for a balanced and healthy diet, they supply the body with minerals and dietary fiber. Substances contained in vegetables, such as flavonoids, phenols and carotenoids, prevent vitamin deficiencies and reduce the risk of developing

various types of cancer, cardiovascular disease, and diabetes. However, vegetables spoil quickly and need appropriate canning, that is, technology to extend the shelf life while maintaining nutritional and sensory qualities. To preserve fruit and vegetable raw materials, it is necessary to stop the development of microorganisms with the help of heat treatment, which slows down bacterial and enzymatic activity. It is believed that even a mild thermal process tends to cause significant color loss and changes in texture, flavor and potential nutritional value. The focus is that the combination of time and temperature associated with a particular pasteurization process will largely control the chemical, biochemical and microbiological changes that will occur in the food product. Changing the relationship between time and temperature can affect both desirable and undesirable reactions that occur during pasteurization, such as browning of vegetables. The analysis allowed us to assert that among external factors, temperature is the most important factor in ensuring quality in the production and subsequent storage of raw materials. Attention is focused on the fact that production efficiency can be improved with the help of (PCS) and control of the quality indicators of the initial product, which will allow assessing the quality of the initial product of the mass transfer process without installing additional flow analyzers (physical sensors) that require constant calibration. An improved model of an automated heat treatment system for an apparatus for preserving fruit and vegetable raw materials is proposed, which allows the formation of optimal values of control actions to improve the quality of the original product with minimal energy and economic costs.

Key words: *heat treatment, technological processes, canning, automation, fruit and vegetable raw materials, pasteurization, sterilization, blanching.*

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-37-43

УДК (681.5+62-521):(634.1+635.1/.8)

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹

Омельченко О. В., канд. техн. наук¹

Цвіркун С. Л., канд. техн. наук²

Хлівна О. А., здобувач ОС бакалавр¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

² Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: tserg30@ukr.net.

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ МЕХАНІКИ
ПІД ЧАС РУХУ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ НА СОРТУВАЛЬНОМУ
ПРИСТРОЇ**

УДК (681.5+62-521):(634.1+635.1/.8)

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹

Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences²

Khlivna O. A., a graduate of a bachelor degree¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

² Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tserg30@ukr.net.

**AUTOMATED CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES USING
THE METHODS OF MECHANICS DURING THE MOVEMENT OF FRUIT
AND VEGETABLE RAW AT THE SORTING DEVICE**

Мета. Метою статті є автоматизоване управління технологічними процесами із застосуванням методів механіки під час руху плодовоовочевої сировини на сортувальному пристрої.

Методи. У роботі для автоматизованого сортування яблук різного різновиду за кольором, розміром і вагою, а саме сортів яблук Golden і Granny Smith застосовано методи парних порівнянь, методи теоретичної механіки та закони статистики.

Результати. Зазначено, що плодовоовочева сировина має відповідати певним стандартам якості: бути свіжою, достатньої зрілості, для певного сорту відповідної форми і кольору, без ознак гнилі та механічних пошкоджень. Для забезпечення виконання, деяких з цих умов, використовуються машини для сортування та калібрування. Вважається, що зниження пошкоджень овочів та фруктів за рахунок мінімального числа переходів та одиниць технологічного обладнання, сприятиме підвищенню ефективності процесу сортування та функціонування обладнання, підвищенню конкурентоспроможності та якості продукції. Як відомо, плоди яблуні мають дуже широкий асортимент сортів, тому вони мають різний колір і розмір. Запропоновано автоматичну систему сортування яблук певного різновиду за кольором, розміром і вагою, а саме сортів яблук Golden і Granny Smith. Дана система автоматизованого управління складається з пристрою сортування; пристрою відеоконтролю для забезпечення розпізнавання різновидів за отриманими зображеннями; вимірювального пристрою задля можливості визначення розміру (d) та ваги (m) плодовоовочевої сировини. Для аналізу візуальних властивостей яблук запропоновано встановити промислову кольорову відеокамеру. Отримані зображення будь-якого яблука, що переміщуються на сорту-

Надійшла до редакції 25.03.2022 р.

© Л. О. Цвіркун, О. В. Омельченко, С. Л. Цвіркун,
О. А. Хлівна, 2022

вальному пристрою, можна отримати та обробити за допомогою програмного забезпечення. Сконцентровано увагу на тому, що зі збільшенням початкової швидкості об'єкта на сортувальному пристрої V_0 та часу руху об'єкта скатною поверхнею t , інтервал між яблуками на S_{int} збільшується. Якщо кут установки до горизонту α більше кута тертя об'єкта скатною поверхнею то швидкість об'єктів на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом. Максимальну продуктивність одношарової подачі яблук можна забезпечити лише суцільною подачею плодовоовочевої сировини. Якщо оброблюваний матеріал подавати на сортувальний пристрій суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях St_p , який попередній об'єкт пройде скатною поверхнею до попадання на скатний лоток наступного за нею об'єкта дорівнюватиме її розміру.

Ключові слова: сортування, автоматизація, пристрій сортування, технологічні процеси, плодовоовочева сировина, яблука, методи теоретичної механіки.

Постановка проблеми. Плодовоовочева сировина має відповідати певним стандартам якості: бути свіжою, достатньої зрілості, для певного сорту відповідної форми і кольору, без ознак гнилі та механічних пошкоджень [1]. Для забезпечення виконання, деяких з цих умов, використовуються машини для сортування та калібрування. Для підвищення ефективності сортування плодовоовочевої сировини важливим є застосування універсальних машин з низькою матеріало-енергоємністю та доступною вартістю.

Вирішення зазначених питань можливе шляхом створення надійних робочих сортувальних поверхонь з високою технологічною ефективністю. Сортувальні машини та реалізовані ними процеси повинні бути функціонально адаптовані до різних умов, мати високу технічну і технологічну надійність, ефективність у застосуванні. Перспективним напрямком у створенні та удосконаленні техніки для сортування плодовоовочевої сировини є розробка універсальних пристроїв, які поєднують послідовну комбінацію робочих органів [2]. Зниження пошкоджень овочів та фруктів за рахунок мінімального числа переходів та одиниць технологічного обладнання, сприятиме підвищенню ефективності процесу сортування та функціонування обладнання, підвищенню конкурентоспроможності та якості продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як відомо, плоди яблуні мають дуже широкий асортимент сортів, тому вони мають різний колір і розмір. Плоди необхідно класифікувати, щоб продаватися на ринку як продукт кращої якості. Для цього застосовується сортувальне обладнання яке уможливорює здійснення процесу сортування за кольором, вагою, розміром та визначення дефектів. Автоматична система сортування яблук складається в основному з машинного зору, конвеєрної стрічки, сепаратора та класифікатора: має механічні, електричні, електронні та програмні частини [3, 4].

На підприємствах широко застосовується обладнання з наявністю вібраційного впливу, бо вібрація призводить у багатьох випадках до того, що різні технологічні процеси з механічною дією відбуваються інакше, ніж у звичайних умовах. До переваг такого сортування можна віднести: рівномірний розподіл сировини на робочій поверхні; транспортування вздовж робочого каналу для безперервності технологічного процесу; інтенсифікація та підвищення якісних показників процесу калібрування шляхом спрямованого орієнтування об'єктів, щодо калібруючих отворів.

Яблука, що надходять на сортувальний пристрій, представляють собою суміш об'єктів різного розміру (d), ваги (m) та кольору (g). Завдання сортування полягає у розділенні яблук за різними характеристиками згідно до вимог оброблюваної продукції. Процес сортування плодовоовочевої сировини різними механічними пристроями характеризується такими основними показниками: точність поділу на фракції, питома продуктивність та ступінь пошкодження оброблюваної сировини.

На рис. 1 показана система сортування яблук за розмірно-масовими характеристиками та кольором. Діаметр плодів вимірюють за допомогою ПЗС-камер; програмне забез-

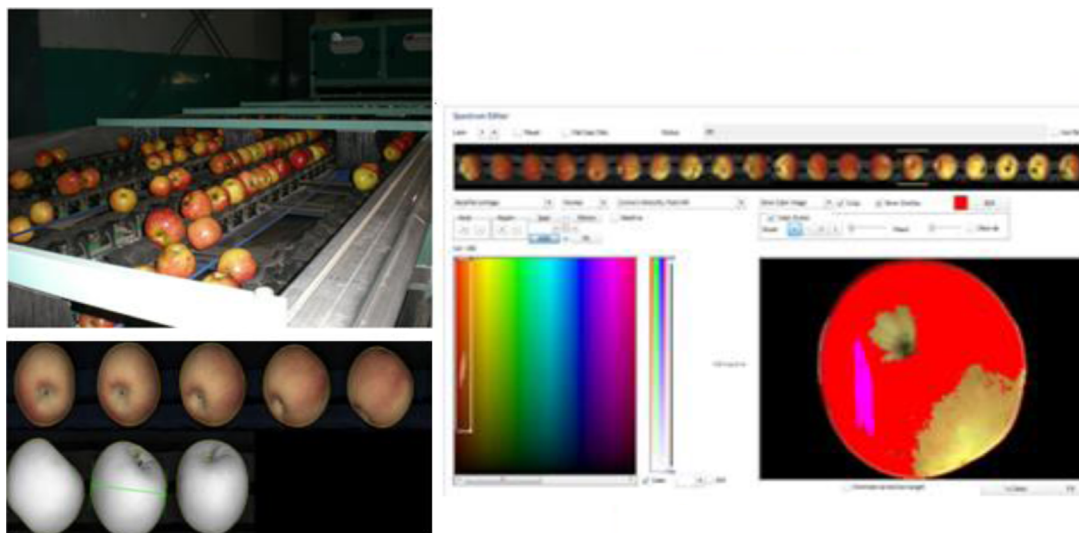


Рисунок 1 — Система сортування яблук за розмірно-масовими характеристиками та кольором

печення вимірює діаметр на основі даних, що передаються. Вимірювання кольору проводиться з усіх боків плодів в той час як конвеєри рухаються. Кілька алгоритмів програмного забезпечення швидко оцінюють колір, що дає змогу точно контролювати почервоніння або позеленіння плодів [5]. На ефективність процесу сортування впливають умови роботи та особливості конструкції робочих органів та сортуючих пристроїв у цілому.

Сортування плодовоовочевої сировини у механічних пристроях може відбуватися лише за розмірною ознакою. Тоді при розробці робочих органів і конструкції сортування урахуються залежність розміру плодовоовочевої сировини (d), ваги (m) від розмірів фракцій. Означені статистичні величини знаходяться в тісній кореляційній залежності між собою і показують, що маса плодовоовочевої сировини і кожен з її розмірів, варіюються біля певного середнього значення [6]. Важливим показником, що характеризує якість роботи сортуючих пристроїв при є точність поділу сировини. У процесі сортування за розмірними ознаками якість роботи сортуючої поверхні визначається теоретично можливою точністю сортування, яка залежить від сорту яблук, розмірної ознаки для поділу, фракційного складу, а також конструктивних особливостей робочих органів.

Мета статті — автоматизоване управління технологічними процесами із застосуванням методів механіки під час руху плодовоовочевої сировини на сортувальному пристрої.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі пропонується автоматична система сортування [7, 8] яблук певного різновиду за кольором, розміром і вагою, а саме сортів яблук *Golden* і *Granny Smith*. Запропонована система автоматизованого управління складається з пристрою сортування; пристрою відеоконтролю для забезпечення розпізнавання різновидів за отриманими зображеннями; вимірювального пристрою задля можливості визначення розміру (d) та ваги (m) плодовоовочевої сировини, рис. 2.

Для аналізу візуальних властивостей яблук запропоновано встановити промислову кольорову відеокамеру. Отримані зображення будь-якого яблука, що переміщуються на сортувальному пристрої, можна отримати та обробити за допомогою програмного забезпечення.

Переміщення об'єктів (яблук) на сортувальному пристрої можна розглянути, як рух частини похилою площиною, рис. 3.

Скористаємося диференціальним рівнянням руху об'єкта похилою площиною [9, 10].

$$m \cdot \frac{d^2 S}{dt^2} = m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

де m — маса оброблюваного матеріалу, кг; S — шлях пройдений об'єктом похилою площиною, м; V — швидкість руху оброблюваного матеріалу похилою площиною, м/с; t — час руху об'єкту похилою площиною, с; f — коефіцієнт тертя.

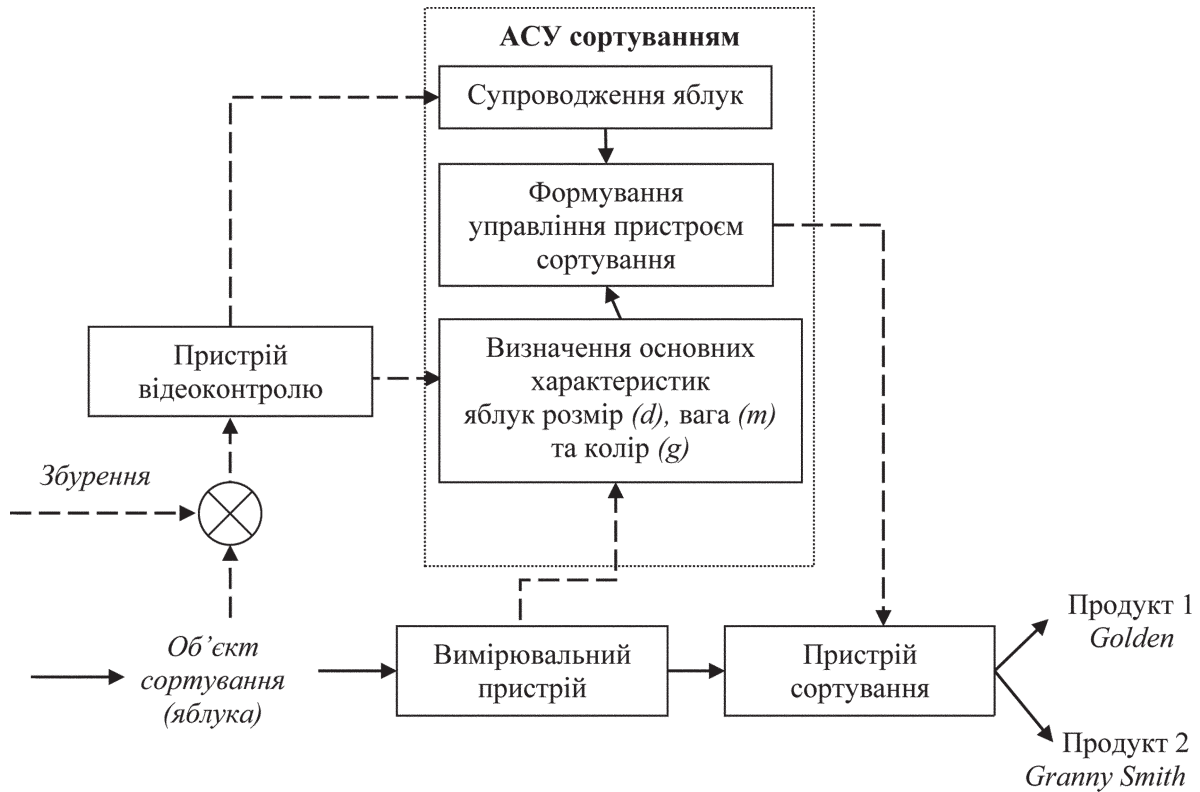


Рисунок 2 – Схема автоматизованого управління процесом сортування яблук

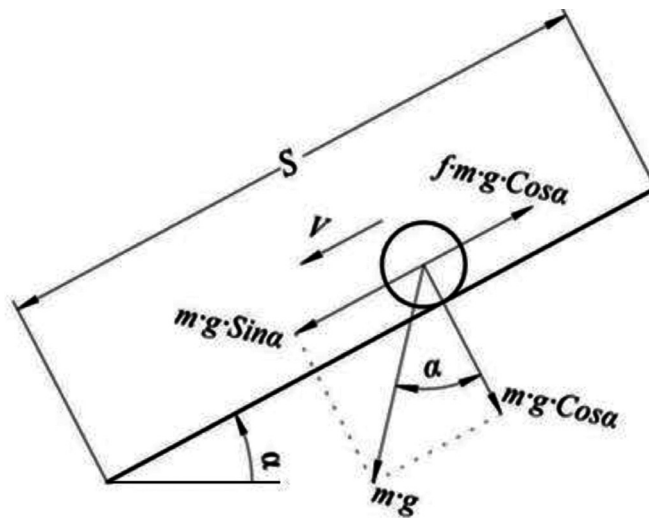


Рисунок 3 – Рух яблука похилою площиною:
 m – маса оброблюваного матеріалу, кг; S – шлях пройдений об'єктом похилою площиною, м; V – швидкість руху оброблюваного матеріалу похилою площиною, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; α – кут нахилу площини до горизонту, °; f – коефіцієнт тертя.

Отримаємо рівняння

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha = g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) . \quad (2)$$

Коефіцієнт тертя можна визначити використовуючи рівняння

$$f = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} , \quad (3)$$

де φ — кут тертя частинки по скатній поверхні, °.

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \left(\sin \alpha - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos \varphi \right) = g \cdot \left(\frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi} \right); \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (5)$$

Рівняння швидкості руху об'єкта у будь-якому момент часу

$$V = V_0 + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g \cdot t. \quad (6)$$

Рівняння пройденого шляху об'єкту за певний проміжок часу

$$S = V_0 \cdot t + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot g \cdot t^2. \quad (7)$$

Отримаємо рівняння

$$\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g = z \quad (8)$$

Скатні лотки встановлюють під невеликим кутом до горизонтальної поверхні, який перевищує кут тертя частинок скатною поверхнею ($\alpha > \varphi$), тому оброблюваний матеріал прискорюється, рухаючись на сортувальному пристрою. Ця умова дозволяє в кінці скатного лотка об'єктам рухатися більш розрідженим потоком, що забезпечує високу якість сортування. На сортувальний пристрій яблука подаються послідовно, через деякий проміжок часу, який дорівнює t_0 . Тоді шлях S_{t-t_0} , котрий пройде наступний об'єкт за деякий проміжок часу, згідно з рівнянням буде дорівнює

$$S_{t-t_0} = V_0 \cdot (t - t_0) + \frac{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot (t - t_0)^2 \quad (9)$$

де S_{t-t_0} — шлях наступного об'єкту, пройдений скатною поверхнею, м; t_0 — час, через який кожний наступний об'єкт потрапляє на скатний лоток, с; $t - t_0$ — час руху наступного об'єкту скатним лотком, с.

Отже, зі збільшенням початкової швидкості об'єкта на сортувальному пристрої V_0 та часу руху об'єкта скатною поверхнею t , інтервал між яблуками на S_{int} збільшується. Якщо кут установки до горизонту α більше кута тертя об'єкта скатною поверхнею то швидкість об'єктів на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом. Максимальну продуктивність одношарової подачі яблук на сортувальний пристрій можна забезпечити лише суцільною подачею плодовоовочевої сировини. Якщо оброблюваний матеріал подавати суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях S_{t_0} , який попередній об'єкт пройде скатною поверхнею до попадання на скатний лоток наступного за нею об'єкта дорівнюватиме її розміру.

Висновки. Пропонується автоматична система сортування яблук різного різновиду, на прикладі, сортів яблук Golden і Granny Smith, які поділяються на різні класи за кольором, розміром і вагою. Запропонована система автоматизованого управління складається з пристрою сортування; пристрою відеоконтролю для забезпечення розпізнавання різновидів за отриманими зображеннями; вимірювального пристрою задля можливості визначення розміру (d) та ваги (m) плодовоовочевої сировини. Для аналізу візуальних властивостей яблук запропоновано встановити промислову кольорову відеокамеру. Отримані зображення будь-якого яблука, що переміщуються на сортувальному пристрою, можна отримати та обробити за допомогою програмного забезпечення.

Зазначено, що зі збільшенням початкової швидкості об'єкта на сортувальному пристрої V_0 та часу руху об'єкта скатною поверхнею t , інтервал між яблуками на S_{int} збільшується. Якщо кут установки до горизонту α більше кута тертя об'єкта скатною поверхнею то швидкість об'єктів на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом. Максимальну продуктивність одношарової подачі яблук на сортувальний пристрій можна забезпечити лише суцільною подачею плодовоовочевої сировини. Якщо оброблюваний матеріал подавати суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях S_{i0} , який попередній об'єкт пройде скатною поверхнею до попадання на скатний лоток наступного за нею об'єкта дорівнюватиме її розміру.

Список літератури

1. Технічні (якісні) вимоги «Овочі, фрукти та горіхи». URL: <https://dpsu.gov.ua/ua/Tehnichni-%20yakisni%20vimogi-Ovochi-frukti-ta-gorih>.
2. Дзюба О. А. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сортувальки бульб картоплі: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.11. Харків, 2011. 216 с.
3. Sofu M.M., Kayacana M.C. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. Vol. 127. P. 395–405.
4. Оптичне сортування: як досягти максимальної вартості зібраного врожаю. URL: <https://agri-gator.com.ua/2021/04/07/optychne-sortuvannia-iaak-dosiahty-maksymalnoi-vartosti-zibrano-ho-vrozha-iu>.
5. Ramesh Babu D., Gayatri N., Issac Prasad P. Automatic systems for controlling fruit movement, grading and storing under low temperature controlled atmosphere storage. *International journal of mechanical and production engineering research and development*. 2020. Vol. 10. P. 4541–4556.
6. Дзюба О.А. Аналіз пристроїв для післязбирального сортування картоплі. *Вісник ХДПУ*. 2000. Вип. 123. С. 99–106.
7. Мартиненко І.І., Головинський Б.Л. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. К. : Урожай, 2001. 224 с.
8. Автоматизація технологічних процесів і САК. URL : <https://atpicak.ucoz.ua>.
9. Павловський М.А. Теоретична механіка. К.: Техніка, 2016. 400 с.
10. Шульга. О.Ю. Теоретична механіка. Харків: Ранок, 2017. 208 с.

References

1. *Tekhnichni (yakisni) vymohy «Ovochi, frukty ta horikhy»* (2018). [Technical (quality) requirements «Vegetables, fruits and nuts»]. Access mode: <https://dpsu.gov.ua/ua/Tehnichni-%20yakisni%20vimogi-Ovochi-frukti-ta-gorih>.
2. Dzyuba, O.A. (2011). *Obgruntuvannya konstruktyvno-rezhymnykh parametriv sortuvalky bul'b kartopli* [Substantiation of constructive-mode parameters of potato tuber sorting. PhD in Engineering sciences thesis]. Kharkov, 216 p.
3. Sofu, M.M., Kayacana, M.C. (2016). *Proektuvannya avtomatychnoyi systemy sortuvannya yabluka za dopomohoyu mashynnoho ohlyadu* [Design of an automatic apple sorting system using machine vision]. *Komp'yutery i elektronika v sel'skom khozyaystve* [Computers and electronics in agriculture], vol. 127, pp. 395–405.
4. *Opticheskaya sortirovka: yak dosyagti maksimal'noi vartosti zibrano-ho vrozha-yu* [Optical sorting: how to achieve the maximum cost of the harvest]. Access mode: <https://agri-gator.com.ua/2021/04/07/optychne-sortuvannia-iaak-dosiahty-maksymalnoi-vartosti-zibrano-ho-vrozha-iu>.
5. Ramesh Babu, D., Gayatri, N., Issac Prasad, P. (2020). *Avtomaticheskkiye sistemy dlya kontrolya dvizheniya fruktov, sortirovki i khraneniya v nizkotemperaturnom khranilishche s kontroliruyemoy atmosferoy* [Automatic systems for controlling fruit movement, grading and storing under low temperature controlled atmosphere storage]. *Mezhdunarodnyy zhurnal issledovaniy i razrabotok v oblasti mashinostroyeniya i proizvodstva*. [International journal of mechanical and production engineering research and development], vol. 10, pp. 4541–4556.

6. Dzyuba, O. A. (2000). *Analiz ustroystv dlya posleuborochnoy sortirovki kartofelya* [Analysis of devices for post-harvest sorting of potatoes]. *Visnyk KHDPU* [HGPU Bulletin], vol. 123, pp. 99–106.
7. Martinenko, I., Golovinsky, B., Lysenko, V. (2001). *Avtomatizatsiya tekhnologichnikh protsessov sil's'kogospodars'kogo virobnitstva* [Automation of technological processes of agricultural production]. Kyiv, Harvest Publ., 224 p.
8. *Avtomatyzatsiya tekhnologichnykh protsesiv i SAK* (2014). [Automation of technological processes and SAC]. Access mode: <https://atpicak.ucoz.ua>.
9. Pavlovs'kyi, M. A. (2016). *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kyiv, Machinery Publ., 400 p.
10. Shulga, O. Yu. *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kharkiv, Morning Publ., 208 c.

Objective. *The purpose of the article is the automated control of technological processes using the methods of mechanics during the movement of fruit and vegetable raw materials on a sorting device.*

Methods. *In this paper, for automated sorting of apples of different varieties by color, size and weight, namely the varieties of apples Golden and Granny Smith, methods of paired comparisons, methods of theoretical mechanics and the laws of statics were used.*

Results. *It is noted that fruit and vegetable raw materials must meet certain quality standards: be fresh, of sufficient maturity, for a certain variety of the appropriate shape and color, without signs of rot and mechanical damage. To ensure that some of these conditions are met, various automatic sorting and grading machines are used. It is believed that the reduction of damage to vegetables and fruits due to the minimum number of transitions and units of technological equipment will help improve the efficiency of the sorting process and the operation of equipment, increase competitiveness and product quality. As you know, apple fruits have a very wide range of varieties, so they have different colors and sizes. An automatic system for sorting apples of a certain variety by color, size and weight, namely the Golden and Granny Smith apple varieties, is proposed. This automated control system consists of a sorting device; video monitoring devices to ensure recognition of varieties from the received images; a measuring device for determining the size (d) and weight (m) of fruit and vegetable raw materials. To analyze the visual properties of apples, it is proposed to install an industrial color video camera. The received images of any apple transferred to the sorting device can be obtained and processed using the software. Attention is focused on the fact that with an increase in the initial speed of the object on the sorting device V_0 and the time of movement of the object along the sloped surface t , the interval between apples increases by S_{int} . If the angle of installation to the horizon α is greater than the angle of friction of the object by the sloping surface, then the speed of objects on the sloping tray V and the interval between particles S_{int} increase with time. The maximum productivity of a single-layer supply of apples can be ensured by a continuous supply of fruit and vegetable raw materials. If the processed material is fed to the sorting device in a continuous (continuous) single-layer flow, then the path S_{10} that the previous object will pass through the sloping surface until the object following it hits the chute will be equal to its size.*

Key words: *sorting, automation, sorting device, technological processes, fruit and vegetable raw materials, apples, methods of theoretical mechanics.*

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор¹
Гузенко В. В., канд. техн. наук, доцент¹
Дмитревський Д. В., канд. техн. наук, доцент¹
Золотухіна І. В., д-р техн. наук, доцент¹

¹ Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна), e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ МЕМБРАННОГО РОЗДІЛЕННЯ ХАРЧОВИХ РІДИН

UDC 628.161

Deynichenko G. V., Grand PhD of Engineering Science, Professor¹
Guzenko V. V., PhD in Engineering sciences, Associate Professor¹
Dmytrevsky D. V., PhD in Engineering sciences, Associate Professor¹
Zolotukhina I. V., Grand PhD of Engineering Science, Associate Professor¹

¹ State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

ANALYTICAL REVIEW OF MODERN METHODS OF INTENSIFICATION OF MEMBRANE SEPARATION OF FOOD LIQUIDS

Мета. Мета статті полягає у аналітичному дослідженні основних напрямків удосконалення процесових аспектів мембранного розділення харчових рідин з метою подальшого створення удосконаленого обладнання для концентрування молочної сировини.

Методи. В статті застосовані загальноприйняті теоретичного та комбіновані методи аналітичного дослідження із використанням сучасних комп'ютерних програм. На базі експериментальних досліджень та власних розробок методами порівняльного та системного аналізу а також класифікації авторським колективом створені класифікації технічного оснащення мембранних процесів. Для дослідження проаналізовано інформаційні джерела за обраною тематикою: монографії, статті, енциклопедії, дисертації.

Результати. Представлені результати аналітичних досліджень вирішення проблеми забруднення напівпроникних мембран в процесі мембранного розділення харчових рідин. Представлено класифікацію сучасних типів мембранного обладнання в залежності від характеру протікання процесу розділення. Представлено принципову схему традиційних методів зниження концентраційної поляризації на поверхні напівпроникних мембран та надано порівняльний аналіз найбільш ефективних з них. Наведено приклади інноваційних розробок зі зменшення та видалення поляризаційного шару з поверхні напівпроникної мембрани. Розроблено класифікацію методів боротьби з концентраційною поляризацією в процесі мембранного розділення з метою розробки мембранного обладнання з використанням комбінованих методів видалення забруднень на поверхні напівпроникних мембран. Запропоновано принципово нові методи класифікації мембранного обладнання та методів боротьби з забрудненнями на мембранах згідно вимог харчової промисловості. Отримані результати можуть бути використані в подальшому формуванні теоретичних та експериментальних досліджень під час розробки нових методів інтенсифікації мембранних процесів розділення харчових рідин.

Ключові слова: мембрана, процес, інтенсифікація, забруднення, поляризація, харчові рідини.

Надійшла до редакції 17.03.2022 р. © Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко, Д. В. Дмитревський, І. В. Золотухіна, 2022

Постановка проблеми. На сучасному етапі мембранні методи розділення харчових рідинних сумішей знаходять широке застосування. Використання напівпроникних мембран відкриває великі можливості у харчовій промисловості багатьох країн світу. Обробка молочної сировини, фруктових та овочевих соків, сиропів екстрактів, білків, різноманітних есенцій, пива та інших харчових продуктів може здійснюватися мембранними методами набагато дешевше, ніж наприклад випарюванням, або виморожуванням і без втрати летучих компонентів чи погіршення смаку, що часто супроводжує концентрування випарюванням. Також використання процесів мембранного розділення харчових рідин дозволяє збільшити вихід готового продукту до 25 % [1–4].

Поряд з цим неминучим явищем і проблемою є забруднення мембран в процесі розділення харчових рідин, що призводить до зростання опору масопереносу мембрани і, як наслідок, до зниження її питомої продуктивності. Причинами цього, в більшості випадків є концентраційна поляризація, адсорбція, гелеутворення, закупорювання або перекривання пор. У зв'язку з цим, актуальним є дослідження та створення нових методів запобігання забрудненню напівпроникних мембран та створення нових видів мембранного обладнання [5, 6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Раніше для мембранної обробки біологічних рідин в нашій країні використовувалися такі установки, як А1-ОУП, А1-ОУС, А1-ОУВ. Але вони мають велику потужність. Потенційне значення має також ультрафільтраційна установка А1-ЭУФ, яка використовується для ультрафільтрації в'язких рідин [7, 8].

Методом зниження концентраційної поляризації таких установок є турбулізація розподільного розчину за допомогою підвищення швидкості у над мембранному просторі до 3–5 м/с та застосування турбулізуючої вставки, що призводить до різкого підвищення втрат енергії [7]. Також для зниження концентраційної поляризації в потік вводять частки із густиною матеріалу (наприклад, полімери, скло), з якою вони виготовлені, близькою до густини розчину [8]. Але й цей спосіб не є ефективним. Недоліком всіх установок є зменшення швидкості процесу з часом внаслідок утворення поляризаційного шару на поверхні матеріалу [9].

Сьогодні зарубіжні компанії виробляють різний асортимент мембранного обладнання, що використовується в різних галузях народного господарства, а також для цільового використання зі специфічними властивостями. Основними виробниками різних видів обладнання є США, Японія, Китай, Данія [10–12].

Основними властивостями мембранного обладнання є відмінна стійкість до кислот, лугів та окислювачів; стійкість до розчинення; висока температурна стійкість; чудова здатність до поділу та дуже маленька відстань між порами; відмінна стійкість до механічних пошкоджень та абразивного зношування; дуже тривалий термін служби у порівнянні із полімерними мембранами; легкість у чищенні та санітарній обробці шляхом промивання зворотним потоком [13–16]. При цьому питання боротьби з забрудненням напівпроникних мембран не вирішено до сьогодні, і являє собою актуальне завдання, що стоїть перед вченими всього світу.

Мета статті. Мета статті полягає у аналітичному дослідженні основних напрямків удосконалення процесових аспектів мембранного розділення харчових рідин з метою подальшого створення удосконаленого обладнання для концентрування молочної сировини.

Щоб досягти зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- дати удосконалену класифікацію існуючого мембранного обладнання з використанням методів інтенсифікації в процесі розділення харчових рідин;
- надати характеристику та класифікації найбільш прогресивних методів інтенсифікації мембранного розділення харчових рідин;
- на підставі результатів дослідження визначити напрямки подальших досліджень з удосконалення технологічного обладнання.

Виклад основного матеріалу дослідження. До всіх мембранних апаратів, незалежно від їх типу, пред'являються загальні вимоги, а саме: вони повинні мати велику робочу поверх-

ню в одиниці об'єму апарату, відрізнятися високими експлуатаційними характеристиками, забезпечувати високу швидкість руху рідини, що розділяється, з метою запобігання на поверхні напівпроникної мембрани концентраційної поляризації, працювати при невеликому перепаді тиску. В даний час всі мембранні апарати прийнято ділити на чотири основні типи: з плоскими, трубчастими, з рулонними мембранними елементами і з мембранами у вигляді порожнистих волокон (капілярними мембранами) [17].

Класифікувати сучасні мембранні установки можна з урахуванням технологічних характеристик обладнання в процесах розділення та очищення біологічних рідин [18–20]. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1 — Класифікація сучасних типів мембранного обладнання
(складено автором на основі [7, 18])

№, з/п	Показник	Вид
1	За організацією процесу	періодичної дії
		безперервної дії
2	За видом баромембранного процесу	мікрофільтраційні
		ультрафільтраційні
		зворотноосмотичні
3	За формою та типом укладання мембранного елемента	пластинчасті
		трубчасті
		капілярні
		рулонні
4	За способом розташування мембранного елемента	горизонтальні
		вертикальні
		похилі
5	За напрямком руху рідини, що розділяється	протитечієві
		циркуляційні
		тангенціальні
		радіальні
6	За наявністю додаткових процесів та пристроїв інтенсифікації	механічні (втулки та вставки довільної форми, сітка)
		фізичні (нагрівання; вібрація; магнітні, електричні та ультразвукові поля)
		гідродинамічні (перемішування, пульсуюча подача)
		хімічні (луги, кислоти)
7	За методом розташування модулів	паралельне розташування
		перехресне розташування
		невпорядковане розташування
8	За формою та розташуванням модулів	циліндричні
		кубічні, прямокутні
		комбіновані
9	За конструктивним виконанням	одно- та двокорпусні
		безкорпусні
10	За кількістю апаратів розміщених в установці	одноступінчасті
		багатоступінчасті

Як зазначалося раніше, широкому впровадженню баромембранних процесів перешкоджає зниження проникності мембран в процесі розділення, що полягає у виникненні шару осаду на поверхні мембрани — тобто концентраційну поляризацію.

В даний час єдиної думки щодо способів ефективного впливу на інтенсивність прояву забрудненості мембранної поверхні частинками дисперсної фази продукту концентраційної поляризації не вироблено. Багато авторів схильні в думці, що найбільш перспективним напрямком її усунення є визначення гідродинамічних умов проведення баромембранного процесу, сприяють зниженню інтенсивності формування шару концентраційної поляризації і як наслідок — зменшення, що розділяється.

Ю. С. Поляковим запропоновано класифікацію способів зниження концентраційної поляризації на поверхні напівпроникних мембран (рис. 1) при розділенні рідких високомолекулярних полідисперсних систем РВПС [21].



Рисунок 1 — Схема класифікації способів зниження концентраційної поляризації за баромембранного розділення РВПС (складено на основі [21])

Відповідно до класифікаційної схеми автор виділяє два основні напрями вирішення проблеми. Перше пов'язано з інтенсифікацією процесу перерозподілу частинок дисперсної фази від поверхні мембран до центральної осі потоку РВПС, що розділяється, що дозволяє вирівнювати рівні їх концентрації у поверхні мембрани і в об'ємі розчину. Другий напрямок заснований на встановленні низької швидкості процесу баромембранного поділу, при якій концентраційна поляризація не досягає значних величин.

Серед способів активного на процес формування шару концентраційної поляризації можна виділити механічні, фізичні та хімічні [22].

Механічні способи запобігання чи зниження інтенсивності утворення поляризаційного шару найбільш поширені. До них відносяться створення інтенсивної турбулізації потоку рідини, що розділяється над поверхнею мембрани [23], зміна конфігурації каналу баромембранного апарату і подача розділеної РВПС тангенціально до поверхні мембрани [24], зміна режимів потоку розділяється системи в каналі апарату, підвищення швидкості потоку системи до 4...5 м/с [25], використання у складі розділеної РВПС твердих частинок дисперсної фази як турбулізатори потоку [26].

До фізичних методів зниження рівня концентраційної поляризації відносять підвищення температури мембрани чи рідини, що розділяється, до 60...70 °С [22]. Однак багато біологічних рідин, що піддаються мембранному поділу, зокрема, білково-вуглеводна молочна сировина, містять ряд термолабільних компонентів, в яких при дії високої температури відбуваються незворотні зміни високомолекулярних речовин. З погляду збереження нативних властивостей систем, що розділяються, термічний спосіб зниження рівня концентраційної поляризації не завжди виправданий.

Відомий спосіб зниження рівня концентраційної поляризації та апарат для його здійснення за допомогою ультразвуку [26]. Ультразвук від генератора надходить хвилеводом на відбивач і збуджує в розчині, що розділяється, кавітацію, в результаті якої в потоці виникають пульсуючі бульбашки. Пухирці, надаючи силовий вплив на осілі частинки поляризаційного шару, відривають їх від поверхні мембрани, після чого ці частинки відносяться з рідиною, що розділяється. Таким чином, вся поверхня мембрани очищається від частинок поляризаційного шару, що призводить до відновлення початкового гідравлічного опору в апараті та заданої продуктивності мембрани.

Слід зазначити, що використання ультразвуку є технічно складним способом, який потребує додаткового апаратного забезпечення, що далеко не завжди є виправданим. До того ж, ультразвукові хвилі можуть негативно впливати на складові компоненти ЖВПС, що потребує проведення додаткових досліджень такого впливу в кожному конкретному випадку [18].

Ще одним фізичним способом усунення поляризаційного шару на поверхні напівпроникної мембрани є розглянутий у роботі [20] метод імпульсного переполюсування. Автори стверджують, що цей метод у процесі електродіалізу є ефективним безреагентним способом вирішення проблеми утворення поляризаційного шару. Встановлено струмові режими проведення процесу, при яких застосування реверсного електродіалізу є технологічно вигідним, розроблено математичну модель процесу, справедливу в довільній багатоіонній мембранній системі. Даний спосіб є новим, вимагає подальших наукових досліджень, тому поки що не може бути рекомендований для практичного застосування.

Хімічні способи на процес формування шару концентраційної поляризації полягають у додаванні в розділяється систему інгібуючих речовин, що запобігають утворенню осаду, або у використанні хімічних реагентів для регенерації мембран після їх забруднення, тобто. закупорювання пір [6, 12]. Однак, ці способи неприйнятні при баромембранному розділенні харчових рідких систем, тому вони не можуть розглядатися як предмет досліджень у цій дисертації.

Нами розроблена класифікація способів зниження концентраційної поляризації на поверхні напівпроникних мембран за розділення рідких високомолекулярних полідисперсних систем, яка може бути представлена як інтенсифікація процесу в залежності від технологічних особливостей робочого середовища та технічного оснащення мембранних модулів в харчових виробництвах (табл. 2).

Незважаючи на різноманіття методів боротьби з концентраційною поляризацією, ні один з них не призводить до повної нейтралізації її впливу. Тому виправданий пошук таких умов роботи мембранних апаратів, які забезпечували б максимальний ефект при мінімальних витратах.

З усіх розглянутих у таблиці способів активного впливу на процес формування шару концентраційної поляризації найбільш прийнятним з точки зору збереження нативних

Таблиця 2 — Способи зменшення забруднення напівпроникних мембран
(складено автором на основі [6, 7])

№, з/п	Характеристика способу	Вид способу	Реалізація (вимоги)
1	Інтенсифікація процесу переміщення розчину, що розділяється шляхом зміни технологічних умов	Підвищення температури системи, що розділяється	Не вище 60 °С
		Підвищення температури мембранного елемента	Термостійкість мембрани до 50 °С
		Зміна робочого тиску в каналі баромембранного апарату	Стійкість мембрани (0,1...1,0 МПа)
		Використання мембран з підвищеним гідравлічним опором	Багатошаровий матеріал
2	Механічні та конструкційні методи інтенсифікації	Механічні пристрої та механізми для турбулізації потоку системи	Мішалки та вставки довільної форми, барбатуючі пристрої
		Зміна конфігурації каналу баромембранного апарату	Втулки, сітки, патрубки
		Зміна положення мембранного елемента або його рух навколо осі	Вертикальні, горизонтальні, похилі елементи
		Використання частинок дисперсної фази для механічного впливу на примембранний шар	Кульки, стружка довільної форми, стиснене повітря тощо
3	Фізичні та гідродинамічні методи інтенсифікації	Зміна режимів потоку системи, що розділяється в каналі апарату	Протичійна, радіальна, тангенціальна, пульсуюча подача
		Використання впливу фізичних явищ на поверхню мембрани	Ультразвук, вібрація, електричні та магнітні поля
4	Хімічні методи інтенсифікації	Для харчової промисловості не допустимі	Луѓи, кислоти

властивостей компонентів рідких високомолекулярних полідисперсних систем, що розділяються є механічні способи. Незважаючи на наявну в літературі значну кількість способів і пристроїв механічного запобігання утворення поляризаційного шару на поверхні мембран, їх потенційні можливості далеко не вичерпані. Тому виникає задача розробки принципово нових мембранних установок з використанням засобів повного або часткового усунення концентраційної поляризації з поверхні мембрани, що буде сприяти підвищенню ефективності процесу мембранної обробки харчових рідин.

Висновки. Таким чином, забруднення напівпроникних мембран в процесі обробки харчових рідин становить проблему, що може бути вирішено шляхом теоретичних та експериментальних досліджень у напрямку удосконалення мембранного обладнання. Тому на початку представлено загальну класифікацію існуючого мембранного обладнання в залежності від чинників, що можуть впливати на процес забруднення мембран. Представлено класифікації методів зниження поляризаційного шару на поверхні мембранних елементів та обґрунтовано вибір напрямку подальших технічних розробок з метою зменшення або видалення забруднень в процесі мембранного розділення молочної сировини.

Список літератури

1. Дейниченко Г. В., Гузенко В. В., Гафуров, О. В. Якість харчових рідин ультрафільтраційно-го концентрування. *Товари і ринки*. 2015. № 2 (20). С. 140–149.
2. Milić J. K., Petrinić I., Goršek A., Simonič M. Ultrafiltration of oilin-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach. *Central European Journal of Chemistry*, 2014. № 12(2). Pp. 242–249.
3. Bhattacharjee C., Saxena V., Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2017. № 43. Pp. 136–153.

4. Berk Z. Food process Engineering and Technology. USA : Elsevier, 2009. 605 p.
5. Beicha A., Zaamouche R., Sulaiman N. M. Dynamic ultrafiltration odel based on concentration polarisation — cake layer interplay. *Desalination*, 2009. Vol. 242. Pp. 138–148.
6. Семенов А. Г. Развитие гелевого загрязнения мембраны при тангенциальной ультрафильтрации раствора высокомолекулярного соединения. *Технология и техника пищевых производств*. 2011. № 1. С. 79–83.
7. Гафуров О. В. Усовершенствование процесса ультрафильтрации белково-углеводного молочного сырья и его аппаратурное оформление: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. X. 2016. 226 с.
8. Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г. Мембранні процеси в технології комплексної переробки сироватки : монографія. Київ : НУХТ, 2013. 153 с.
9. Некоз О. І., Литвиненко О. А., Пашенко Б. С. Інтенсифікація технології водоочищення для харчових підприємств. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. № 179. С. 139–145.
10. Золотухіна І. В. Наукове обґрунтування технологій напівфабрикатів на основі цільового використання нутрієнтів білково-вуглеводної молочної сировини: дис... д-ра техн. наук: 05.18.16. Харків: ХДУХТ. 2021. 303 с.
11. Дейниченко Г. В., Мазняк З. О., Гузенко В. В. Разработка оборудования для мембранного концентрирования жидких высокомолекулярных полидисперсных систем. *Первый независимый сборник*. 2015. № 1. Ч. 1. С. 32–36.
12. Kumar P., Sharma N., Ranjan R., Kumar S. Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry. A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013. 9 (26). P. 1347–1358. doi: 10.5713/ajas.2013.13082.7.
13. Hu K., Dickson J. M. Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. Oxford : Wiley Blackwell, 2015. 269 p. doi: 10.1002/9781118590331.
14. Deynichenko G., Guzenko V., Dmytrevskiy D., Chervonyi V., ... Korolenko O. Research method of reducing polarization layer at ultrafiltration of cottage cheese whey. *EUREKA: Life Sciences*, 2020. no. 4. pp. 8–14.
15. Lobasenko B., Semenov A. Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer. *Foods and Raw Materials*. 2013. Vol. 1. No. 1. Pp. 74–81. <https://doi.org/10.12737/1560>.
16. Peinemann V., Pereira Nunes S., Giorno L. Membranes for food applications. Borchester, UK: Wiley-VCH, 2011. 264 p.
17. Ярославцев А. Б. Мембраны и мембранные технологии. М.: Научный мир, 2013. 612 с.
18. Ribeiro A., Ning B., Goncalves G. The optimisatiol of soybean oil degumming on a pilot plan scale using a caramic membrane. *Journ. Food Eng.* 2008. Vol. 87. № 4. Pp. 514–521.
19. Дейниченко Г. В., Мазняк З. О., Золотухіна І. В. Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини: монографія. Харків : Факт, 2008. 208 с.
20. Первов А. Г. Современные методы подготовки очистки питьевой и технической воды с применением мембран: обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация : монография. М. : Издательство асоциации строительных вузов, 2009. 232 с.
21. Drioli E., Giorno L. Membrane operations: innovative separations and transformations . Weinheim, UK: Wiley-VCH, 2009. 578 p.
22. Drioli E., Ali A., Macedonio F. Membrane Operations for Process Intensification in Desalination. *Membrane Desalination*. 2017. № 7(1). Pp. 70–100. doi: 10.3390/app7010100.
23. Peeva P. D., Knoche T., Pieper T., Ulbricht M. Cross-flow ultrafiltration of protein solutions through unmodified and surface functionalized polyethersulfone membranes — Effect of process conditions on separation performance. *Separation and Purification Technology*. 2012. № 92. Pp. 83–92.
24. Тамин А. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов. М. : Профессия, 2016. 416 с.

25. Cai M. S. Zhao, H. Liang, Mechanisms for the enhancement of ultrafiltration and membrane cleaning by different ultrasonic frequencies. *Desalination*. 2010. Vol. 263. Pp. 133–138.

26. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. Membrane Cleaning. *Expanding Issues in Desalination*. 2011. Pp. 3–84.

References

1. Dejnichenko G. V., Guzenko V. V., Gafurov, O. V. (2015). *Yakist' harchovih ridin ul'trafil'tracijnogo koncentruvannya* [Quality of food liquids of ultrafiltration concentration]. *Tovari i rinki* [Goods and markets], 2 (20), p. 140–149.

2. Milić J. K., Petrinić I., Goršek A., Simonič M. (2014). Ultrafiltration of oil-in-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach. *Central European Journal of Chemistry*, № 12(2). Pp. 242–249.

3. Bhattacharjee, C., Saxena, V., Dutta, S. (2017). Fruit juice processing using membrane technology: A review, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, no 43, pp. 136–153.

4. Berk, Z. (2009). *Food process Engineering and Technology*. USA : Elsevier, 605 p.

5. Beicha, A., Zaamouche, R., Sulaiman, N. M. (2009). Dynamic ultrafiltration model based on concentration polarisation — cake layer interplay, *Desalination*, no. 242, pp. 138–148.

6. Semenov, A. G. (2011). *Razvitie gelevogo zagryznenija membrany pri tangencial'noj ul'trafil'tracii rastvora vysokomolekuljarnogo soedinenija* [The development of gel contamination of the membrane during tangential ultrafiltration of a solution of a macromolecular compound], *Tehnologija i tehnika pishhevyh proizvodstv* [Technology and technique of food production], no 1, pp. 79–83.

7. Gafurov, O. V. (2016). *Usovershenstvovanie processa ul'trafil'tracii belkovo-uglevodnogo molochnogo syr'ja i ego apparaturnoe oformlenie* [Improvement of the process of ultrafiltration of protein-carbohydrate milk raw materials and its instrumentation. PhD in Engineering sciences thesis]. Kharkiv: KhDUKhT, 256 p.

8. Myronchuk, V. G., Zmiyevs'kyj, Yu. G. (2013), *Membrani procesy v texnologiyi kompleksnoi pererobky syrovatky* [Membrane processes in technology of whey processing complex], Kyiv : NUXT, 126 p.

9. Nekož, O. I., Litvinenko, O. A., Pashchenko, B. S. (2016). *Intensyfikaciya texnologiyi vodoochyshhennya dlya xarchovyx pidpryemstv* [Intensification water treatment technologies for food companies]. *Visnyk Xarkivskogo nacionalnogo texnichnogo universytetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka* [Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture], no. 179, pp. 139–145.

10. Zolotukhina, I. V. (2021). *Naukove obgruntuvannya tekhnologij napivfabrykativ na osnovi ciljovogho vykorystannya nutrijentiv bilkovo-vuglevodnoji molochnoji syrovyny* [Scientific substantiation of technologies of semi-finished products on the basis of target use of nutrients of protein-carbohydrate dairy raw materials. PhD in Engineering sciences thesis]. Kharkiv, KhDUKhT, 303 p.

11. Dejnichenko, G. V., Maznyak, Z. O., Guzenko, V. V., Udovenko, O. O., Omel'chenko, O. V. (2016). *Rozrobka pry'stroju dlya intensyfikaciyi procesu ul'trafil'tracijnogo koncentruvannya ridkyx vy'sokomolekulyarnyx polidy'spersnyx sy'stem* [Development of a device for intensifying the process of ultrafiltration high-concentration liquid polydisperse systems], *Pratsi Tavriys'koho derzhavnogo ahrotekhnolohichnogo universytetu* [Proceedings of the Tavriya State Agrotechnological University], no. 16(1), pp. 70–75.

12. Kumar, P., Sharma, N., Ranjan, R., Kumar, S. (2013). Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 9, iss. 26, pp. 1347–1358. doi: 10.5713/ajas.2013.13082.

13. Hu, K., Dickson, J. M. (2015). *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*. Wiley Blackwell, Oxford. doi: 10.1002/9781118590331.

14. Dejnichenko, G., Guzenko, V., Dmytrevskiy, D., Chervonyi, V., Korolenko, O. (2020). Research method of reducing polarization layer at ultrafiltration of cottage cheese whey. *EUREKA: Life Sciences*, no. 4, pp. 8–14.

15. Lobasenko, B., Semenov, A. (2013). Intensification of ultrafiltration concentrating by the separation of the concentration boundary layer, *Foods and Raw Materials*, no. 1(1), pp. 74–81. <https://doi.org/10.12737/1560>.
16. Peinemann, V., Pereira Nunes, S., Giorno, L. (2010). Membranes for food applications, Borchester, UK: Wiley-VCH, 264 p.
17. Yaroslavcev, A. B. (2013). *Membrany i membrannye technologii* [Membrans and membrane technology], Moscow, Nauchny mir, 612 p.
18. Ribeiro, A., Ning, B., Goncalves, G. (2008). The optimisation of soybean oil degumming on a pilot plant scale using a ceramic membrane, V. 87, № 4, P. 514–521.
19. Dejnichenko, G. V., Maznyak, Z. O. and Zolotuhina, I. V. (2008), *Ul'trafil'tratsiyni protsesy ta tekhnolohiyi ratsional'noyi pererobky bilkovo-vuhlevodnoyi molochnoyi syrovyny* [Multifiltration processes and technology rational processing of Ultrafiltration Protein-Carbohydrate Raw Milk], Kharkiv, Fakt Publ.
20. Pervov, A. G. (2009). *Sovremennyye metody podgotovki ochistki pit'evoy i tehnichejskoj vody s primeneniem membran: obratnyj osmos, nanofil'tracija, ul'trafil'tracija* [Modern methods of preparation and purification of drinking water technology using membranes: reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration]. Moscow, Izdatel'stvo asociacii stroitel'nyh vuzov.
21. Drioli E., Giorno L. (2009). Membrane operations: innovative separations and transformations. Weinheim, Wiley-VCH, 578 p.
22. Drioli E., Ali A., Macedonio F. (2017). Membrane Operations for Process Intensification in Desalination. *Membrane Desalination*, 7(1), pp. 70–100. doi: 10.3390/app7010100.
23. Peeva P. D., Knoche T., Pieper T., Ulbricht M. (2012). Cross-flow ultrafiltration of protein solutions through unmodified and surface functionalized polyethersulfone membranes — Effect of process conditions on separation performance. *Separation and Purification Technology*, no. 92, pp. 83–92.
24. Tamin A. (2016). *Membrannye tekhnologii v proizvodstve napitkov i vina* [Membrane technologies in the production of beverages and wine]. Moscow. 416 c.
25. Cai M. S. Zhao, H. Liang. (2010). Mechanisms for the enhancement of ultrafiltration and membrane cleaning by different ultrasonic frequencies. *Desalination*, vol. 263. pp. 133–138.
26. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. (2011). Membrane Cleaning. *Expanding Issues in Desalination*, 3–84.

Objective. *The purpose of the article is analyze the main directions of improving the process aspects of membrane separation of food liquids in order to further create improved equipment for the concentration of raw milk.*

Methods. *The article uses generally accepted theoretical and combined methods of analytical research using modern computer programs. On the basis of experimental researches and own developments by methods of the comparative and system analysis and also classification by author's collective classifications of technical equipment of membrane processes are created. For the research the information sources on the chosen subject are analyzed: monographs, articles, encyclopedias, dissertations.*

Results. *The results of analytical studies to solve the problem of contamination of semipermeable membranes in the process of membrane separation of food liquids are presented. The classification of modern types of membrane equipment depending on the nature of the separation process is presented. The schematic diagram of traditional methods of reducing the concentration polarization on the surface of semipermeable membranes is presented and a comparative analysis of the most effective of them is given. Examples of innovative developments to reduce and remove the polarization layer from the surface of a semipermeable membrane are given. A classification of methods for combating concentration polarization in the process of membrane separation has been developed in order to develop membrane equipment using combined methods of removing contaminants on the surface of semipermeable membranes. Fundamentally new methods of classification of membrane equipment and methods of pollution control on membranes according to the requirements of the food industry are offered. The obtained results can be used in the further formation of theoretical and experimental research during the development of new methods of intensification of membrane processes of separation of food liquids.*

Keywords: *membrane, process, intensification, pollution, polarization, food liquids.*

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-53-65

УДК 681.5:621.565

Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор¹

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Петрушина Ю. М., здобувач ОС магістр¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ В ТЕМПІ З ПРОЦЕСОМ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ

UDC 681.5:621.565

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor¹*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Petrushyna Yu. M., a graduate of a master's degree¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

EVALUATION OF THE OPERABILITY OF REFRIGERATION MACHINES OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS AT A PACE WITH THE REFRIGERATION PROCESS

Мета. Метою статті є підвищення ефективності експлуатації, технічного обслуговування та діагностики холодильного обладнання (холодильних машин) промислового холодильника за рахунок моніторингу його стану в реальному масштабі часу, враховуючи невизначеність інформації про холодопостачання холодильних камер за допомогою апарату нечіткої логіки.

Методи. У статті використано методи системного аналізу, алгоритмізації, математичного моделювання процесів виробництва штучного холоду, його постачання в холодильні камери промислових холодильників, теорії нечіткої логіки нейронних мереж, теорії надійності та експертних оцінок. Використовуючи основну сукупність теоретичних і практичних атрибутів (ознак), в статті розроблено метод оцінки стану обладнання за допомогою моделей причинно-наслідкових зв'язків холодопостачання холодильних камер промислового холодильника, який відрізняється від аналогів точністю прогнозування відмови його обладнання в процесі експлуатації. Метод полягає в параметричній ідентифікації нечіткої моделі за рахунок визначення змінних, які визначають залежність між параметрами процесу виробництва холоду і його холодопостачання в холодильні камери промислового холодильника й оцінює вплив дефектів, несправностей, аварій, аварійних ситуацій на якість замороженої продукції. Експериментальна частина роботи заснована на методах визначення комбінації відмов (ознак низької надійності) холодильного обладнання, помилок персоналу і техногенних впливів процесу виробництва холоду у вигляді дерева відмов для множин проявів несправностей, що дозволяє представити комп'ютерну модель системи обладнання промислового холодильника у вигляді послідовно з'єднаних елементів-блоків, коли відмова будь-якого елемента рівнозначна відмові системи в цілому, що дозволяє на основі обчислювального експерименту з використанням штучних нейронних мереж запропонувати алгоритми та систему діагностики холодозабезпечення холодильних камер промислових холодильників великої потужності для заморожування м'яса великої рогатої худоби.

Результати. Розроблена модель причинно-наслідкових зв'язків стану обладнання холодильних машин промислових холодильників, яка вирізняється тим, що заснована на сучасних

Надійшла до редакції 08.04.2022 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
Ю. М. Петрушина, 2022

методах оброблення інформації про технологічний процес заморожування м'ясних продуктів і статистичних даних про відмови елементів холодильного обладнання і яка дозволяє підвищити в моделях достовірність розрахунків надійності роботи компресорних установок, конденсаторів і випарників при існуючих умовах їх експлуатації з врахуванням вхідної інформації про значення вхідних змінних за допомогою використання нечіткої логіки. Розроблено систему діагностики холодильного обладнання промислового холодильника з високим рівнем точності прогнозування відмов та забезпечення особи, що приймає рішення в реальному масштабі часу, інформацією про оперативні ситуації холодозабезпечення холодильних камер та спрогнозувати наслідки відмов. Практична цінність запропонованої системи діагностики холодильного обладнання полягає в підвищенні надійності, працездатності та ефективності холодозабезпечення холодильних камер за рахунок зниження кількості відмов (позапланових зупинок) до 25 % на рік.

Ключові слова: холодильні камери, холодозабезпечення, холодильні машини, система діагностики, моделювання, керування, технології штучного інтелекту.

Постановка проблеми. У сучасних умовах експлуатації складних технічних систем промислових холодильників необхідно звернути увагу не лише на оптимізацію енергоефективних режимів їх роботи і ресурсозбереження, але й на питання надійності, працездатності обладнання, ефективності його обслуговування і ремонтів, від якості виконання яких залежать витрати на підтримування технічних установок в працездатному стані, безпечному для технологічних процесів і персоналу.

Сучасне виробництво холоду в промислових холодильниках, які збереженням продуктів харчування тим самим забезпечують життєдіяльність населення та роботу переробних і харчових виробництв, одночасно є одним із джерел техногенної небезпеки. До числа причин виробничої аварійності холодильного обладнання промислових холодильників (ПРХ) відносяться: недопустиме зношення основних виробничих фондів, неефективні проєктні та технічні рішення, несвоєчасне виконання робіт щодо обслуговування і ремонту.

Тому до числа пріоритетних задач щодо підвищення рівня безвідмовності обладнання ПРХ відносяться удосконалення методів аналізу його надійності та раціональне використання результатів такого аналізу в системах керування діючим виробництвом холоду.

Відомі методи оцінки стану і надійності обладнання холодильників, що базуються на математичному апараті теорії надійності, теорії ймовірності, методах теорії стійкості, мають обмеження у використанні для комплексного дослідження стану обладнання ПРХ в умовах експлуатації [1]. це обумовлено тим, що холодильне обладнання ПРХ, як складна технічна система діагностики, функціонує безперервно в умовах нечіткого вимірювання значного числа параметрів, а, отже, в умовах невизначеності. Врахувати вплив того чи іншого вхідного параметру і визначити виникнення як раптових, так і спричинених зношенням холодильного обладнання відмов і дефектів елементів обладнання ПРХ в період тривалої його експлуатації існуючими методами неможливо.

Отже, пошук інноваційних методів діагностування несправностей обладнання в процесі заморожування продуктів харчування з метою запобігання простоїв виробництва, а також для оптимізації затрат на ремонтні роботи холодильного обладнання, є актуальним і своєчасним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання технології виробництва штучного холоду, математичного моделювання умов експлуатації холодильного обладнання ПРХ, розвитку методики його експлуатації, стану надійності, працездатності, рішення проблеми аналізу безпеки викидів CO₂, ризику виникнення аварій достатньо широко презентовані в спеціальній літературі [1, 2, 3]. Завдяки фундаментальним роботам, проведеним у два останні десятиліття, досягнуто значних успіхів у наведеній сфері досліджень. Серед них можна виокремити роботи українських вчених Ю. Г. Сухенка, В. Ю. Сухенка, М. Г. Хмельнюка, О. С. Подмазка, І. О. Подмазка, М. М. Муштрука, О. В. Остапенка, О. В. Зіміна [1, 2, 3], в яких детально розглянуті теоретичні питання довговічності, на-

дійності технічних об'єктів харчової промисловості. Серед сучасних наукових досліджень відзначимо наукові праці О. А. Онищенко, В. М. Букарос, А. Ю. Букарос, в яких розроблено системи діагностики та контролю технічного стану холодильних установок на основі відомих FDD (fault detection and diagnostics) методів діагностики складних технологічних систем штучного холоду [4, 5]. У той же час мінімізація втрати якості продукції заморожування продуктів харчування з різними характеристиками, які знаходяться в холодильних камерах промислових холодильників великої потужності, вимагає від науковців додаткових досліджень щодо впровадження інтелектуальних технологій процесів діагностування стану холодильних машин [6, 7]. Тому, на наш погляд, з метою підвищення ефективності експлуатації холодильного обладнання промислових холодильників, їх технічного обслуговування і ремонтів обладнання для заморожування продуктів харчування в холодильних камерах, необхідно для оцінки стану холодильного обладнання розробити методику представлення його у вигляді моделей причинно-наслідкових зв'язків складної технічної системи за допомогою апарату нечіткої логіки та розробити алгоритм прийняття рішень щодо оцінки стану обладнання промислового холодильника.

Метою статті є підвищення ефективності експлуатації, технічного обслуговування та діагностики холодильного обладнання (холодильних машин) промислового холодильника за рахунок оцінки його стану в реальному масштабі часу, враховуючи невизначеність інформації про холодопостачання холодильних камер за допомогою апарату нечіткої логіки.

Вклад основного матеріалу. З метою моделювання процесів виробництва холоду та впливу експлуатаційних відмов елементів холодильних машин на працездатність усієї технічної системи обладнання ПРХ використовуємо формалізовані методи виявлення причинно-наслідкових зв'язків між подіями (відмовами) та вихідними показниками процесу заморожування.

Дані методи є графічними і широко використовуються проєктантами для аналізу працездатності складного холодильного обладнання з системами автоматизованого керування [8].

Множину можливих відмов позначимо: $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ — вихідні змінні. Для виявлення комбінації відмов (негараздів) обладнання, помилок персоналу та зовнішніх (техногенних, природних) впливів, які спонукають до виникнення аварійних ситуацій системи обладнання ХМ, побудуємо дерево відмов (ADO/FTA) [7]. При цьому будемо розглядати будь-які негаразди технологічного режиму холодопостачання, які спонукають до утворення перерв щодо нормальної роботи холодильного обладнання ПРХ.

На рис. 1–5 представлені моделі причинно-наслідкових зв'язків (дерево відмов) обладнання ПРХ. У процесі побудови дерева відмов для множини U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 необхідно звернути увагу на те, що технічна система холодильного обладнання ПРХ є системою з послідовним з'єднанням елементів-блоків. Як відомо, у подібній системі відмова будь-якого елемента призведе до відмови системи в цілому. У результаті цього структурну схему надійності системи обладнання ХМ ПРХ представимо у вигляді послідовних блоків 1, 2, ..., 5.

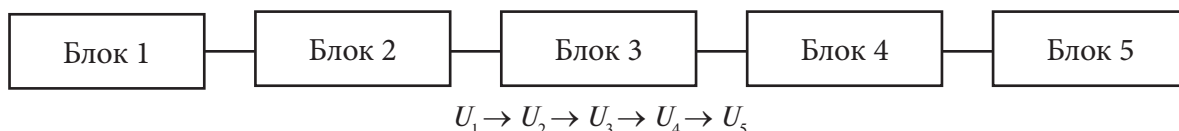


Рисунок 1 — Структурна схема надійності обладнання ХМ промислового холодильника

В умовах діючого виробництва штучного холоду на холодильних підприємствах до найбільш відповідальних елементів технічної системи обладнання ХМ ПРХ віднесемо: компресор, випарник, конденсатор, холодильний агент, охолоджуючі прилади. Завдання експлуатації холодильних машин полягає в підтримуванні нормативних температур для створення в холодильній камері ПРХ певних температурно-вологісних режимів і подальшому забезпеченні заданих параметрів мікроклімату. Ці складові позначимо у вигляді множин U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 .

U_1 несправність компресора (відмова)	V_{11} технічний стан компресора	Зношення в процесі експлуатації
		Інтенсивне спрацювання опорних підшипників
		Несправність механізмів кривошипно-шатунного вузла
		Підвищена вібрація поршневого компресора
	V_{12} порушення герметичності	Несправність поршневої і клапанної груп
		Неправильне центрування вала в корпусі
		Порушення в системі мастила
		Порушення технології експлуатації компресора
		Порушення температурних режимів
		Порушення притирання кілець тертя
	V_{13} втрата холодильного агента через сальники компресора	Зношення гумових кілець
		Втрата холодильного агента через сальники запірної арматури
		Втрати герметизуючих властивостей паронітових прокладок
		Відмови (поломка) пластин всмоктувальних клапанів
V_{14} втрата холодопродуктивності компресора	Потрапляння в компресор рідкої робочої сировини (або мастила) між поршнем і кришкою циліндру	
	Мала величина лінійного мертвого простору	

Рисунок 2 — Дерево відмов для множини простору U_1 (компресор)

Надійність такої системи q складається із незалежних, послідовно зв'язаних елементів і дорівнює добутку надійностей її елементів. Інтенсивність відмов λ нерезервованої системи дорівнює сумі інтенсивностей відмов елементів системи:

$$q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n = \prod_{i=1}^n q_i ; \quad (1)$$

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) , \quad (2)$$

де q — надійність системи; $\lambda(t)$ — інтенсивність відмов; i — кількість елементів системи (1, n).

Це свідчить про те, що при збільшенні числа елементів різко зменшується надійність усієї системи [1].

	Зношення АД в процесі експлуатації
	Людський фактор — помилки оперативного персоналу
V_{21} несправність електрообладнання АД-ТПЧ	Несправність системи включення-виключення ТПЧ
	Несправність системи контролю АСР АД-ТПУ
	Контроль параметрів потужності, питомих витрат
	Несправність апаратури захисту АД або СД
	Витрати електроенергії та витрати води
	Несправності датчиків контролю
	Несправності АРМ холодильщика
	Контроль виробничої ситуації
V_{22} несправності САК і АСУТП	Зниження холодопродуктивності ХМ
	Система контролю гідравлічного удару
U_2 відмова електрообладнання холодильної машини та АСУТП	Система несправності контролю холодопостачання, тиску, температури
	Несправності датчиків тиску, температури, вібрації в САК діагностиці
	Зниження витрат холодильного агенту
V_{23} втрата холодильного агента через сальники компресора	Контроль температури кипіння мановакуумметром
	Контроль холодопродуктивності системи холодопостачання
	Збої в системі АРМ, ПЗ, ІСППЕ
	Контроль температури заморожування продукту
	Збої в системі промислового Інтернету-речей
	Збої в системі MES, ERP-розподілу продукції
V_{24} втрата холодопродуктивності компресора	Несправність датчиків температури повітря
	Збої в системі оцінки якості процесів охолодження
	Збої в системі шокового заморожування
	Збої в системі багатоступеневого стиснення

Рисунок 3 — Дерево відмов для множини U_2

Людський фактор — помилки операторів ХМ		
V_{31} несправність обладнання багатоступеневого стиснення	Несправність компресорів: зменшення продуктивності	
	Несправність насосної групи: зниження тиску	
V_{32} несправність двохступеневої ХМ	Збої систем автоматизованого керування	
	Відсутність змащення робочих деталей ХМ	
	Несправність проміжної змієвикової посудини та повного проміжного охолодження	Відхилення тиску та температури від номінальних значень
		Відхилення від оптимального теплового режиму (зменшує холодопродуктивність ХМ)
		Несправність мастильного насосу ХМ
		Забруднення фільтрів, засмічення мастилопроводів, порушення герметичності мастильної системи, низький рівень мастила
Матеріальний баланс проміжної посудини відсутній		
V_{32} несправність двохступеневої ХМ	Наявність значних відхилень витрат холодильного агенту	
U_3 багатоступеневі компресорні ХМ в системі холодопостачання ПРХ	Технологічні перевантаження збільшення експлуатаційних витрат на одержання штучного холоду	
	Наявність значних відхилень витрат холодильного агенту	
	Несправність електродвигунів компресорів ХМ	Зміни режимів електрозабезпечення двигунів ХМ, ремонт виводів електродвигунів, ушкодження ізоляції вивідних кінців
		Неузгодженість систем керування швидкістю АД-ТПЧ холодильних машин: зниження ККД ХМ
Відхилення параметрів холодозабезпечення, що знижує корисні властивості продукту та їх терміни придатності		
V_{33} несправність в системі холодопостачання ПРХ	Небажані надходження теплоти від продуктів і тари під час холодильного оброблення	
	Нераціональні параметри надходження теплоти від вентиляції, експлуатації камер	
	Порушення технологій зберігання продуктів харчування	

Рисунок 4 — Дерево відмов БСК ХМ в системі холодопостачання ПРХ(U_3)

U_4 Відмови холодильного апарату		Розпізнавання гідравлічного удару
		Технологічні порушення експлуатації аміачних холодильних машин: потрапляння рідкого аміаку в циліндри компресора
	V_{41} витрата холодильного агента	Контроль утворення парових пробок і тиску (50 кПа)
		Контроль параметрів рідкого аміаку перед насосом, охолоджуючого приладу, випарник-конденсатор
		Контроль відхилення поточної холодопродуктивності випарника і компресора від оптимальної
	V_{42} відхилення холодопродуктивності	Контроль температури кипіння в елементах холодильної машини
		Контроль підвищення температури конденсації

Рисунок 5 — Дерево відмов для множини U_4

U_5 Мікроклімат холодильної камери	V_{51} відхилення температури холодильної камери та заморожуваного продукту від нормованих показників	Людський фактор
		Технологічні порушення умов зберігання продукту
		Відносні параметри
		Вологість повітря в камері Температура заморожуваного продукту Час роботи холодильної камери
	V_{52} відхилення параметрів мікроклімату від заданих значень	Параметри CO_2
		Якість заморожуваного продукту

Рисунок 6 — Дерево відмов для множини U_5

При цьому в основу механізму розповсюдження збурень за структурою системи покладено думку, що імпульс впливу відмови елемента накопичується і зменшує як показники надійності окремих елементів системи обладнання ХМ промислових холодильників, так і показник надійності системи в цілому:

$$U = \sum f(V_i) = f(V_1) + f(V_2) + f(V_3) + f(V_4) + f(V_5). \quad (3)$$

На основі аналізу дерев відмов і виходячи з вищесказаного, найбільший внесок до сумарного ризику надходження несприятливих подій вносять елементи з множиною відмов U_1 і U_3 . Таким чином, компресор з трубопроводом і шатунами є ключовою частиною системи надійності обладнання ХМ, модернізація системи автоматичного контролю і керування якого може бути найбільш ефективною з точки зору безпеки, розробки конструктивно-технологічних та експлуатаційних заходів, спрямованих на зниження імовірності і наслідків можливих відмов для якості продуктів харчування. На рис. 7 наведено систему діагностики та керування холодильними машинами з метою підвищення їх працездатності та ефективності заморожування продуктів харчування без втрати їх якості [6, 7].

В автоматизованій системі діагностики запропоновано виокремити такі підсистеми:

- інформаційного забезпечення з нечіткими базами даних, базами знань, оперативними базами даних і знань відповідно (НБД, НБЗ, ОБД, ОБЗ);
- діагностики працездатності обладнання ХМ;
- захисту обладнання від аварійних ситуацій;

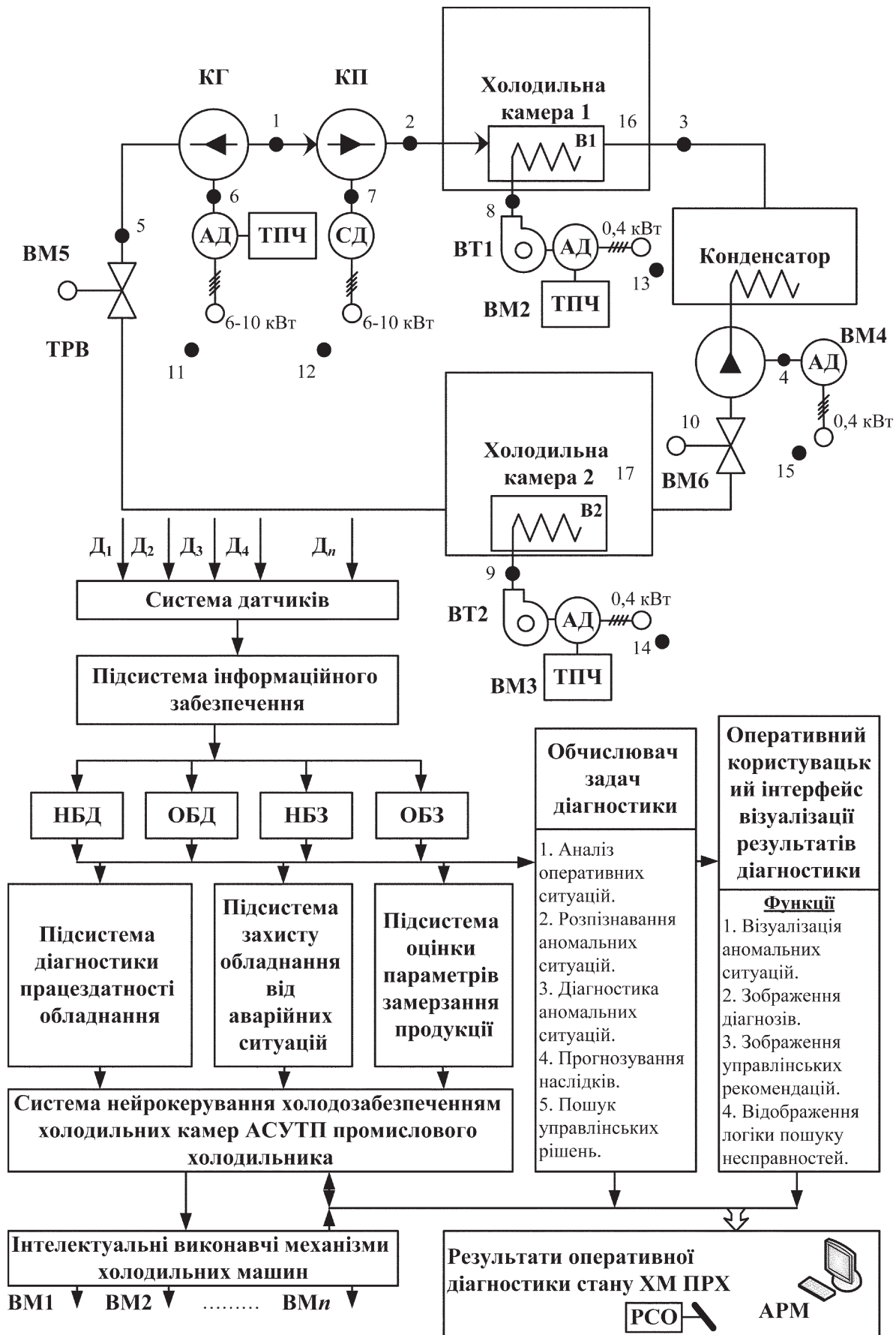


Рисунок 7 — Автоматизована система діагностики та керування холодильними машинами промислового холодильника (точки 1, 2, 3, 4, ..., 17 — контролю і діагностики обладнання холодильних машин промислового холодильника)

— оцінки параметрів заморожування продуктів, а саме τ_0 — тривалість заморожування, яку будемо оцінювати за формулою Планка [9] та контролювати параметри: R — визначальний розмір шматка продукту, його геометрію, м; ρ — густину охолодженого продукту, кг/м³; q — питому теплоту кристалізації води; ω — вологовміст продукту; t_k — криоскопічну температуру продукту, °С; $t_{o.c.}$ — температуру охолоджуваного середовища, °С; λ — теплопровідність заморожуваного продукту, Вт/(м·К); Q — кількість теплоти, відведеної від продукту під час заморожування, кДж; G — масу замороженого продукту, кг; H_n, H_k — питомі ентальпії продукту відповідно в початковому та кінцевому (замороженому) стані, кДж/кг; контроль параметрів вібрації компресора поршневого (КП), компресора гвинтового (КГ), конденсатора; стану випарника (кількості пари, що утворюється у випарнику (кг/с)); теплове навантаження, кВт; q_0 — питома масова холодопродуктивність 1 кг холодильного агента, кДж/кг; стан снігової шуби на поверхні випарника. Крім контролю цих важливих параметрів (з системою датчиків $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{17}$) передбачено контроль параметрів потужності та струму синхронних двигунів (СД) компресорів поршневих, асинхронних двигунів та тиристорних перетворювачів частоти ТПЧ компресорів гвинтових, положення інтелектуальних виконавчих механізмів (ІВМ) $ВМ_1, ВМ_2$ і т.д.

АСУТП промислового холодильника включає: системи нейронечіткого керування холодозабезпеченням холодильних камер ($ХМ_1, ХМ_2, \dots$) та регулюванням продуктивності КП, КГ, конденсатора (виконавчі механізми $ВМ_1 — ВМ_6$), вентиляторів $ВТ_1, ВТ_2$ з електроприводом по схемі АДВ-ТПЧ (виконавчі механізми $ВМ_1, ВМ_2$). Узгоджене управління каскадом із двох ступенів компресорних машин КП — КГ — конденсатор — випарники $В_1, В_2$ дозволяє забезпечити високий рівень працездатності та холодопродуктивності, мінімізуючи час простою холодильних машин та надаючи оператору-технологу через робочу станцію оператора (РСО) на його АРМ інформацію у вигляді візуалізації результатів діагностики ХМ, аномальних і аварійних ситуацій, прогнозування наслідків, логіки пошуку несправностей тощо.

У системі нейронечіткого керування процесом заморожування (ХК1, ХК2) продуктів харчування використано нейромережевий регулятор (НМ-Р) з архітектурою входів $N(e_k, Y_k)$. Управлінські впливи на об'єкт (холодильну камеру) розраховуються у відповідності з рівнянням:

$$U_k = N^{FFC}(r_k) + N^{FBC}(r_k, Y_k, U_{k-1}). \quad (4)$$

де r_k — вставка; Y_k — вихід об'єкта, який можна спостерігати; U_{k-1} — управлінські впливи, які сформовані в попередній момент часу.

Такий підхід до побудови архітектури АСУТП з високим рівнем оперативної діагностики регуляторів холодопродуктивності (несправностей ТРВ, забруднення змійовиків випарника, зупинки насосів охолодженої води, положення запірних клапанів, несправностей компресорів), занесених в ОБД і ОБЗ та оцінка стану обмерзання випарників холодильних камер дозволяє оператору-технологу в реальному масштабі часу керувати інтелектуальним комплексом керування параметрами мікроклімату холодильної камери (ХК₁, ХК₂). Тому в архітектурі АСУТП холодозабезпечення ХК промислового холодильника нейромережі (НМ) будуть відігравати роль розпізнавання і прогнозування якості вхідної продукції, заморожуваної продукції в умовах контролю роботи випарника, температури заморожування продукту, відносної вологості повітря у ХК, концентрацію повітря в ХМ, а саме вміст CO_2 . Інтелектуальний комплекс керування мікрокліматом ХК з системою нейромережевого розпізнавання і класифікації повинен забезпечувати адаптацію параметрів процесу заморожування (охолодження) в умовах безперервно змінних зовнішніх умов: надходження нового продукту, відвантаження заморожуваних продуктів споживчу. На рис. 8 наведено приклад алгоритму керування процесом заморожування продукту харчування (наприклад, м'ясних туш великої рогатої худоби), з оцінкою параметрів холодозабезпечення холодильних камер, їх мікроклімату та обліку параметрів енергоспоживання.

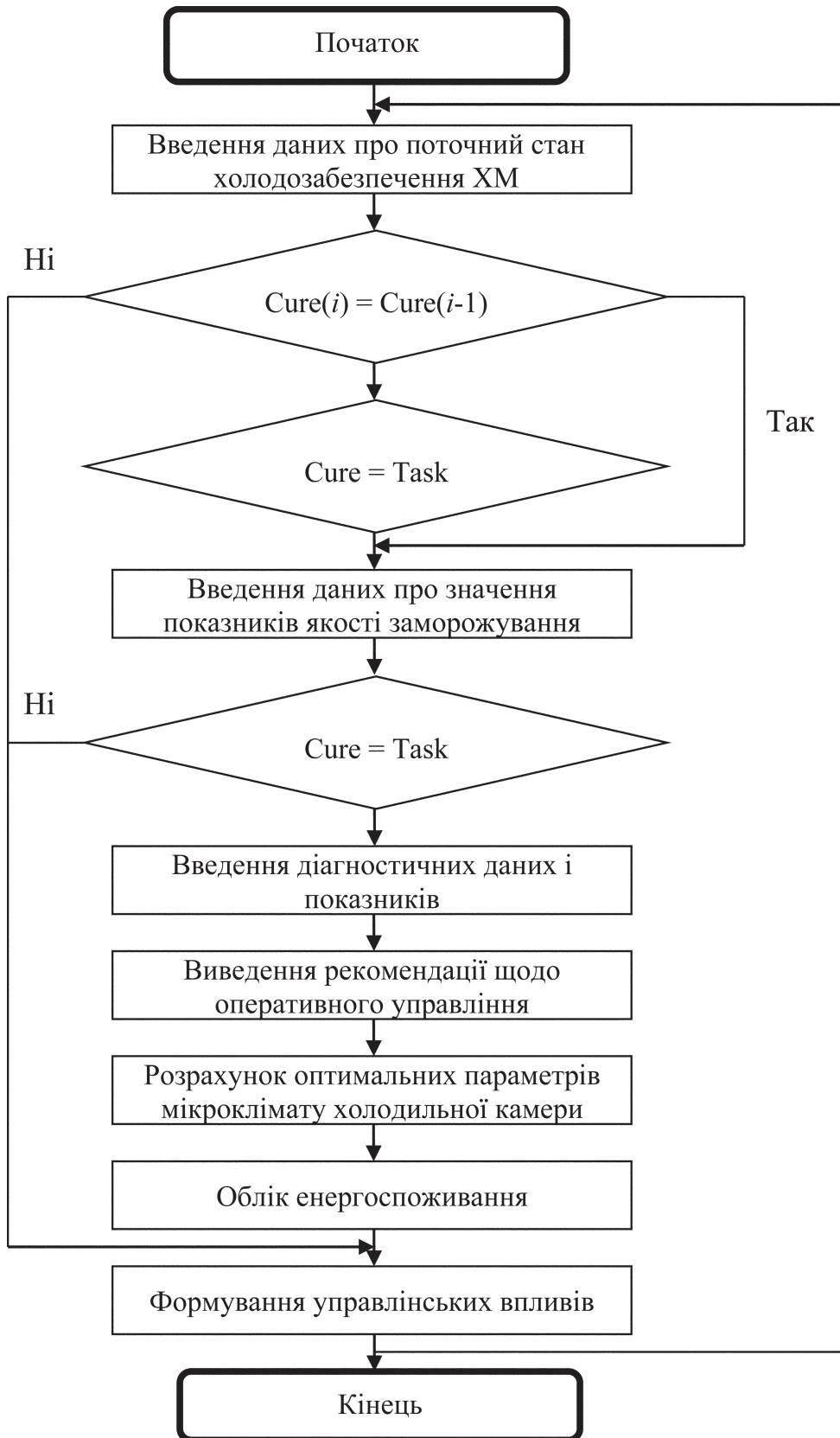


Рисунок 8 — Алгоритм керування процесом заморожування

Висновки. Отже, в процесі розробки методів оцінки працездатності холодильних машин авторами статті запропоновано:

1. Автоматизовану систему моніторингу обладнання і технологічного процесу заморожування (охолодження) продукції.

Така система повинна збирати на пульт АРМ-оператора інформацію про параметри ХМ, холодопостачання. Цей комплекс повинен виконувати наступні функції з використання інтелектуальних технологій з НМ:

- контроль необхідних параметрів і технологічного обладнання холодильних машин — холодопостачання ХК промислових холодильників;
- візуалізацію технологічного процесу з вказівкою контролюючих параметрів в режимі реального часу, аварійна сигналізація, представлення трендів основних технологічних змінних;
- діагностику обладнання ПРХ, надання ОПР інформації про несправність того чи іншого вузла/елемента ПРХ.

2. Методику розробки АРМ-діагностики обладнання ХМ промислових холодильників і реалізації інформаційної підтримки прийняття рішення щодо його сервісного обслуговування в режимі реального часу в процесі експлуатації.

На основі впровадження інтелектуальних технологій АРМ-діагностики буде досягнуто:

- підвищення ефективності роботи обладнання ПРХ за рахунок зниження кількості відмов до 25% за рік;
- виконання переходу від стратегії планового сервісного обслуговування до стратегії обслуговування обладнання ПРХ по фактичному технічному стану;
- забезпечення зниження витрат на ремонти і післяаварійне поновлення обладнання до 5%.

3. Моніторинг обладнання холодильних машин ПРХ і розробка АСУТП на базі нечіткого виведення інформації про стан обладнання ХМ-ПРХ дозволяє на базі нейрон-нечіткого керування комплексом одержати високопродуктивну автоматизовану оцінку працездатності обладнання промислових холодильників за критерієм мінімізації втрати якості замороженої продукції.

Список літератури

1. Сухенко В. Ю., Сухенко Ю. Г., Муштрук М. М. Показники надійності обладнання харчових виробництв. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2016. № 4. С. 12–16.
2. Остапенко О. В., Зімін О. В., Подмазко І. О., Хмельнюк М. Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості. *Холодильна техніка та технологія*. 2016. № 52 (6). С. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.
3. Подмазко І. О. Підвищення ефективності роботи холодильного устаткування при термообробці харчових продуктів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.14 «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування» / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : ОНАХТ, 2013. 20 с.
4. Bukaros A. Yu., Onyshchenko O. A., Montik P. N., Malyshev V. L., Bukaros V. N. Modernization of Luenberger observer for control system of hermetic compressor electric drive. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2019. № 1. С. 230–237. doi: 10.15588/1607-3274-2019-1-21.
5. Букарос В. Н., Букарос А. Ю., Ромчук Н. О. Адаптивная система управления электроприводом компрессора. *Автоматизация технологических и бизнес-процесов*. 2014. № 6(4). С. 84–90. doi: 10.15673/2312-3125.
6. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейро-нечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування. *Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки»*. 2021. Вип. 6 (303). С. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.
7. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2020. 561 с.
8. Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. *Modern Control Systems*. Pearson, 2016. 1032 p.

9. Грищенко В. О. Типові технологічні процеси і холодильне обладнання для зберігання рослинної продукції: моделювання, динамічні режими, керування : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 248 с. ISBN 978-966-929-762-4.

References

1. Sukhenko, V. Yu., Sukhenko, Yu. H., Mushtruk, M. M. (2016). *Pokaznyky nadiinosti obladnannia kharchovykh vyrobnystv* [Indicators of reliability of food production equipment], *Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist* [Standardization. Certification. Quality], no. 4, pp. 12–16.
2. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. G. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti* [Power efficiency opportunities for industrial refrigeration system of food processing enterprise]. *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration Engineering and Technology], no. 52(6), pp. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.
3. Podmazko, I. O. *Pidvyshchennia efektyvnosti roboty kholodylnoho ustatkuvannia pry termoobrobtsi kharchovykh produktiv* [Increase of efficiency of work of refrigeration equipment during heat treatment of food products]. Odesa, ONAFT Publ., 2013, 20 p.
4. Bukaros, A. Y., Onyshchenko, O. A., Montik, P. N., Malyshev, V. L., Bukaros, V. N. (2019). Modernization of Luenberger observer for control system of hermetic compressor electric drive, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, no. 1, pp. 230–237. doi: 10.15588/1607-3274-2019-1-21.
5. Bukaros, V. N., Bukaros, A. Yu., Romchuk, N. O. (2014). *Adaptivnaya sistema upravleniya elektroprivodom kompressora* [Adaptive compressor drive control system], *Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv* [Automation of technological and business processes], 6(4), pp. 84–90. doi: 10.15673/2312-3125.
6. Khorolskyi, V. P., Omelchenko, O. V., Korenets, Yu. M., Honcharenko, V. A., Petrushyna, Yu. M. (2021). *Kholodozabezpechennia kholodylnykh kamer smart-promyslovykh kholodylnykh iz systemamy neuro-nechitkoho keruvannia protsesamy zamorozhuvannia produktiv kharchuvannia* [Cold safety of refrigerating chambers of smart industrial refrigerators from unexpected neuro-fuzzy curing by the processes of freezing foodstuffs]. *Visnyk KhNU. Seriya "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of KhNU. Series "Technical Sciences"], no. 6(303), pp. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.
7. Horolskiy, V. P. et al. (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpriemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region], Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O., 561 p.
8. Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. *Modern Control Systems*. Pearson, 2016, 1032 p.
9. Hryshchenko, V. O. *Typovi tekhnolohichni protsesy i kholodylne obladnannia dlia zberihannia roslynnoi produktsii: modeliuvannia, dynamichni rezhymy, keruvannia* [Typical technological processes and refrigeration equipment for storage of plant products: modeling, dynamic modes, control], Kyiv, Komprynt Publ., 248 p. ISBN 978-966-929-762-4.

Objective. *The purpose of the article is to increase the efficiency of operation, maintenance and diagnostics of refrigeration equipment (refrigerators) of an industrial refrigerator by monitoring its condition in real time, taking into account the uncertainty of information about the refrigeration supply of refrigeration chambers using a fuzzy logic apparatus.*

Methods. *The article uses the methods of system analysis, algorithmization, mathematical modeling of artificial cold production processes, its supply to industrial refrigerators, fuzzy logic theory of neural networks, reliability theory and expert assessments. Using the main set of theoretical and practical attributes (features), the article developed a method for assessing the state of equipment using models of cause-and-effect relationships for the refrigeration supply of industrial refrigerators, which differs from analogues in the accuracy of predicting equipment failure during operation. The method consists in the parametric identification of a fuzzy model by determining variables that determine the relationship between the parameters of the cold production process and its cold supply to the refrigerat-*

ing chambers of an industrial refrigerator and evaluate the impact of defects, malfunctions, accidents, emergencies on the quality of frozen products. The experimental part of the work is based on methods for determining the combination of failures (signs of low reliability) of refrigeration equipment, personnel errors and man-made impacts of the cold production process in the form of a fault tree for a variety of manifestations of faults, which makes it possible to represent a computer model of an industrial refrigerator equipment system in the form of sequential cooling of connected block elements, when the failure of any element is equivalent to the failure of the system as a whole, which allows, on the basis of a computational experiment using artificial neural networks, to propose algorithms and a system for diagnosing the refrigeration supply of refrigerating chambers of high-capacity industrial refrigerators for freezing cattle meat.

Results. A model of causal relationships between the equipment of refrigeration machines of industrial refrigerators has been developed, characterized by the fact that it is based on modern methods of processing information about the technological process of freezing meat products and statistics on failures of refrigeration equipment. This model allows to increase the reliability of calculations of the reliability of compressor units, condensers and evaporators under the existing conditions of their operation, taking into account the input information about the value of input variables by using fuzzy logic. Developed a system for diagnosing refrigeration equipment of industrial refrigerators with a high level of accuracy in predicting failures and providing the real-time decision-maker with information on operational situations of refrigeration of refrigeration chambers to predict the consequences of failures. The practical value of the proposed system of diagnostics of refrigeration equipment is to increase the reliability, performance and efficiency of refrigeration of refrigeration chambers by reducing the number of failures (unscheduled stops) to 25% per year.

Keywords: refrigerating chambers, refrigeration supply, refrigerating machines, diagnostic system, modeling, control, artificial intelligence technologies.

Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор¹

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Омельченко О. В., канд. тех. наук, доцент¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

UDC 681.5:621.565.92(045)

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor¹*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua.

WAYS TO SOLVING THE ISSUE OF THE OPTIMAL CHOICE OF EQUIPMENT FOR COOLING AND FREEZING FOOD BASED ON ITS ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT

Мета. Метою даної статті є пошук способів підвищення якості холодозабезпечення процесів охолодження та заморожування продуктів харчування різної природи в умовах обмеженості параметрів енергосистеми.

Методи. У роботі використано методи технічної діагностики, системного аналізу, математичного моделювання, ситуаційного управління, збору та обробки знань, теорії прийняття рішень, у тому числі з використанням засобів штучного інтелекту.

Результати. У статті представлено математичну модель для створення енергетично ефективних холодильних установок, на підставі проведених теоретичних досліджень розроблено метод підбору технологічного обладнання та представлено розрахунки енергоефективних режимів роботи обладнання для виробництва охолоджених та заморожуваних продуктів харчування, розроблено методіку формування діагностичних моделей для складних процесів, явищ, агрегатів, оснований на структуризації порушень за загальними симптомами. Наукова новизна очікуваних результатів полягає в розробці інтелектуальної системи керування енергоефективною холодильною установкою із застосуванням елементів автоматизації. Визначено, що інтегральним показником енергоефективності камер є споживання холоду за одиницю часу на тонну продукції, а вихідною базою енергетично-економічного аналізу роботи холодильних камер в реальних виробничих умовах є теплові баланси, які можуть бути отримані розрахунковим, дослідним та дослідно-аналітичним способами. Виявлено, що основним етапом енергетично-економічного аналізу є розробка математичних та багатофакторних кореляційних моделей енергетичних характеристик холодильних камер, які визначають залежність питомих витрат холоду (або електроенергії) на холодильну обробку продукції від основних «динамічних» параметрів їх експлуатації. Проведено аналіз та вибір оптимального обладнання за критерієм енергоефективності для виробництва заморожуваних продуктів харчування. Оптимальним в енергетичному плані обладнанням для виробництва заморожуваних продуктів харчування визначено апарати шоквої заморозки. Розглянуто основні завдання оперативного управління компресорними холодильними установками, принципи побудови системи управління на основі діагностики режимів роботи обладнання та вибрано стратегію управління компресорними установками з урахуванням нелінійних параметрів процесів холодозабезпечення холодильних камер.

Надійшла до редакції 29.03.2022 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
О. В. Омельченко, 2022

Ключові слова: охолодження, заморожування, промисловий холодильник, компресор, холодильна машина, енергоефективність, електроспоживання, синхронний двигун, асинхронний двигун, реактивна потужність.

Постановка проблеми. Основним завданням підприємств з виробництва холоду для переробної та харчової галузей України в стратегічному періоді до 2035 року є підвищення якості харчової продукції до вимог світового ринку харчування та зменшення питомих енерговитрат на 25–35% від рівня 2013 року.

Високий рівень енерговитрат для виробництва 1 т продукції підприємств харчової та переробної галузей стимулює їх енергетичний менеджмент до корпоративної реструктуризації процесів обліку та оптимізації енергоносіїв [1]. З метою зменшення собівартості продукції та підвищення її якості до рівня європейських стандартів на підприємствах харчової промисловості ведеться пошук методів управління виробництвом охолодженої і замороженої продукції харчування в умовах ринкових тарифів на електроенергію, а зниження енергетичних витрат на відповідні виробничі процеси є актуальним завданням енергоменеджменту до 2035 року.

Поставленого результату можна досягти шляхом впровадження на підприємствах з виробництва холоду автоматизованих систем управління електроспоживанням холодильних машин та промислових холодильників. Робота таких систем повинна бути узгодженою з оптимізацією технологічних процесів виробництва холоду — холодопостачання N холодильних камер [2] та енергетичних параметрів синхронних та асинхронних двигунів поршневих і гвинтових компресорів холодильних машин.

Таким чином, задача подальшого удосконалення принципів інтелектуального управління процесами електроспоживання потужних комплексів з виробництва охолоджуваних та заморожуваних продуктів харчування в системі енергозабезпечення підприємств-промислових холодильників в умовах обмежень енергопотужності системи електропостачання є актуальною та своєчасною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема ефективності систем енергопостачання підприємств різних галузей тісно пов'язана із стратегією розвитку енергетики України до 2035 року. Пріоритетний напрямок державної політики щодо енергозбереження на підприємствах харчової промисловості та створення зон високої енергоефективності висвітлено в працях [1, 2]. Принципи науково обґрунтованого управління енергозбереженням промислових холодильників підприємств харчової галузі на основі оптимізації технологічних режимів енергоємного обладнання розроблено вченими [3–6]. Системи автоматизованого комерційного обліку й управління електроспоживанням підприємств на базі сучасних SCADA систем розроблено у [7]. У реферованих працях доведено, що ефективність процесів електрозбереження у багатьох випадках залежить від удосконалення систем контролю витрат електрики і автоматизації енергоємних технологічних комплексів, методів штучного вирівнювання графіків навантаження [7–10], а також використання технологій управління збудженням синхронних двигунів з метою зниження плати за перетоки реактивної потужності та сплати за них [11].

Разом з тим, ефективність споживання електрики залежить від багатьох невирішених питань. Серед них: автоматизація електропостачання, вміння проєктантів розробляти системи інтелектуального управління інваріантними до збурень технологічних процесів в періоди обмежень потужності енергосистеми та віялових відключень. Крім цього, недостатньо досліджень проведено щодо розробки багаторівневих систем управління електроспоживанням харчових комплексів з впровадженням інтелектуальних систем управління реактивними та активними потужностями підприємства у періоди обмежень потужності енергосистеми та віялових відключень.

Метою статті є пошук способів підвищення якості холодозабезпечення процесів охолодження та заморожування продуктів харчування різної природи в періоди обмеженості параметрів енергосистеми.

Виклад основного матеріалу. Промислові смарт-холодильники великої продуктивності мають характерні ознаки, серед них головними є:

1. У їх холодильних камерах (контейнерах або приміщеннях) зберігаються і обробляються цінні і, найчастіше, швидкопсувні продукти, які потребують для збереження утримання певної температури, нижчої за температуру зовнішнього навколишнього середовища, та контроль відносної вологості повітря у визначених межах. У деяких випадках контролюється також повітряний обмін та склад газового середовища в камері (наприклад, при зберіганні фруктів у середовищі з підвищеним вмістом двоокису вуглецю або іншого газу).

2. Тепло і волога зовнішнього повітря за рахунок теплогазообміну легко можуть потрапити до об'єму холодильних камер, що вимагає створення спеціальних конструкцій огороження холодильних камер або контейнерів для зменшення проникнення теплоти і вологи із зовні до приміщень.

3. Великий об'єм вантажів знаходиться в стані руху, необхідність їх швидкого розвантаження вимагає широкого використання робототехнологічних комплексів, автоматизованого диспетчерського керування з використанням інтелектуальних технологій контролю якості продукції.

4. Холодильні підприємства віднесені до енергоємних та з підвищеним рівнем дотримання санітарних вимог, тому енергозабезпечення таких підприємств повинно бути віднесено до першої категорії енергопостачання.

5. З метою побудови інформаційних систем керування холодильними підприємствами необхідно побудувати відповідні бази прецедентів і знань:

по-перше, на основі моніторингу технологічних ситуацій заморожування (охолодження) продуктів харчування та діагностики режимів роботи холодильного обладнання, розробити математичні моделі температурних потоків повітря в холодильних камерах;

по-друге, розробити експертну модель оптимального мікроклімату холодильної камери для зберігання продуктів харчування з різними робочими характеристиками заморожування (охолодження тощо);

по-третє, оцінити енергетичні та технологічні режими роботи холодильних машин з очікуваним потенціалом енергозбереження, в яких працюють:

а) поршневі компресори з синхронними двигунами;

б) багатоступеневі компресорні холодильні машини з синхронними двигунами;

в) багатоступеневі компресорні холодильні машини з асинхронними двигунами і системами тиристорного частотного керування швидкістю за схемою АД-ТПЧ;

г) гвинтові компресорні установки з системами ступеневого розподіленого керування компресором і автоматизованого управління холодопродуктивністю з оцінкою тиску всмоктування й активної та реактивної потужностей, що дозволяє досягти за рахунок покращення ЖЦК і стабілізації тиск всмоктування зниження енергозатрат до 15%;

д) групи поршневих компресорів при роботі на холодильні камери із мінімумом споживання електроенергії;

по-четверте, розробити способи управління оптимальною траєкторією процесу охолодження та заморожування харчових продуктів в умовах обмеження потужності енергосистеми, у тому числі, спосіб мінімізації сплати за спожиту електроенергію при виробництві холоду групою компресорів із заданою холодопродуктивністю й визначенням компенсуючої спроможності синхронного електроприводу;

по-п'яте, розробити інтелектуальну систему автоматизованого управління холодозабезпеченням холодильних камер зі змінною структурою холодопродуктивності холодильних машин із заданим потенціалом енергозбереження.

Важливим чинником, що впливає на ефективність роботи промислового холодильного обладнання, є його енергоефективність. Оцінка енергоефективності холодильної системи за основною ознакою, тобто зниження енерговитрат, проводиться або методом емпіричних залежностей (наприклад, шляхом порівняння реальних холодильних коефіцієнтів), або із залученням сторонніх експертів.

Для досягнення енергоефективності діючих холодильних установок або таких, що знаходяться в стадії проєктування, необхідно обов'язкове проведення таких заходів:

1) експертна оцінка обраного обладнання і його компоновання для забезпечення оптимальності співвідношення холодопродуктивності і енерговитратності;

2) енергоаудит обладнання на діючих виробництвах за результатами аналізу як мінімум річної експлуатації холодильних машин з урахуванням умов їх використання та сезонних коливань енергоспоживання.

Обладнанню, в залежності від рівня споживання енергії, присвоюється клас енергетичної ефективності. Існують «Правила визначення виробниками та імпортерами класу енергетичної ефективності товару та іншої інформації про його енергетичну ефективність». Згідно з цими правилами, встановлено класи і характеристики для холодильного обладнання. Найбільшою енергетичною ефективністю володіють прилади класу A+ і A++.

EER — індекс енергетичної ефективності при роботі на охолодження. Вказує на відношення холодопродуктивності (Q_x) при найвищому навантаженні до використовуваної потужності ($N_{спож.}$). Визначається формулою:

$$EER = Q_x / N_{спож.} \quad (1)$$

Існуючі показники енергоефективності холодильного обладнання (табл. 1), що визначають при сертифікаційних випробуваннях обладнання, не можуть характеризувати енергоефективність всієї системи холодопостачання для конкретного об'єкта (з урахуванням профілю теплового навантаження та інших особливостей).

Таблиця 1 — Показники енергоефективності, отримані при сертифікаційних випробуваннях холодильного обладнання

Найменування показника та його міжнародне позначення (розшифрування абревіатури)	Розрахункова формула	Примітка
Коефіцієнт енергоефективності (холодильний коефіцієнт)	$EER = q_x / q_{el}$, де q_x та q_{el} — відповідно максимальна холодопродуктивність і енергетична потужність, кВт	Відношення холодопродуктивності та електричної потужності при максимальній холодопродуктивності (завантаження обладнання 100%)
Європейський сезонний коефіцієнт енергоефективності ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio)	$ESEER = 0,03EER_{100\%} + 0,33EER_{75\%} + 0,41EER_{50\%} + 0,23EER_{25\%}$	$ESEER = 0,03EER_{100\%} + 0,33EER_{75\%} + 0,41EER_{50\%} + 0,23EER_{25\%}$ — коефіцієнт енергоефективності при завантаженні обладнання відповідно на 100, 75, 50, 25 %
Інтегральний показник енергоефективності при частковому завантаженні — IPLV (Integrated energy Part Load Values)	$IPLV = 0,01EER_{100\%} + 0,42EER_{75\%} + 0,45EER_{50\%} + 0,12EER_{25\%}$	
Коефіцієнт теплопровідності — COP (Coefficient of Performance)	$COP = q_m / q_{el}$ де q_m — максимальна теплова потужність в режимі теплового насоса, кВт	Відношення теплової та електричної потужності в режимі вироблення тепла (тепловий насос)
Загальний коефіцієнт енергоефективності TEER (Total Energy Efficiency Ratio)	$TEER = (q_{xp} + q_{mp}) / q_{el}$ q_{xp} та q_{mp} — холодопродуктивність та теплова потужність в режимі рекуперації тепла, кВт	Враховує одночасно вироблення холоду та рекуперацію тепла конденсатора

Енергоефективність системи холодопостачання пропонується оцінювати показником річної енергоефективності EP, що розраховується за формулою:

$$EP = (Q_x + Q_m) / Q_{el}. \quad (2)$$

Вихідні дані для розрахунку енергетичної ефективності наведено в табл. 2.

Надалі потрібно виконати розрахунки таких величин:

— очікуваний профіль навантаження (холод / тепло) на холодильне обладнання в залежності від кліматичних умов і технологічного призначення будівлі;

— поточна величина вироблення холоду і тепла, а також енергоспоживання (годинне, добове), диференційоване відповідно до вимог багатотарифного обліку електроенергії;

— сезонні (річні) витрати електроенергії всіма споживачами холодильної станції (холодильна машина, гідромодуль, градирня, зональні охолоджувачі) в залежності від характеристик і алгоритму управління обладнанням.

— холодильні камери та столи, морозильні шафи та ларі, бонети, льодогенератори, барні та винні шафи, диспенсери для заморозки допомагають зберігати м'ясо, овочі, фрукти свіжими, незалежно від зовнішніх умов подавати споживачам охолоджені напої і слідувати рецептам приготування різних страв.

Таблиця 2 — Вихідні дані для розрахунку енергетичної ефективності

Назва	Джерело інформації, розрахункова формула
Річна (сезонна) кількість виробленого холоду Q_x , кВт·год/рік	$\sum_{i=1}^n Q_{xi} = \sum_{i=1}^n q_{xi} \times \tau_{ix}$
Річна (сезонна) кількість виробленого тепла (в режимі рекуперації и теплового насоса) Q_m , кВт·год/рік	$\sum_{i=1}^m Q_{Ti} = \sum_{i=1}^m q_{Ti} \times \tau_{iT}$
Річна кількість витраченої електроенергії всім обладнанням холодильної установки Q_{el} , кВт·год/рік	$\sum_{i=1}^{n+m} Q_{eli} = \sum_{i=1}^{n+m} q_{eli} \times \tau_{iel}$

У таблиці 2:

1) τ_{ix} , τ_{iT} , τ_{iel} — кількість годин роботи обладнання, відповідно виробляючого холод, тепло та споживаючого електроенергію при i -й температурі зовнішнього повітря, год/рік;

2) q_{xi} , q_{Ti} , q_{eli} — відповідно загальна холодильна, теплова чи електрична потужність обладнання при різній температурі зовнішнього повітря, кВт.

Професійна техніка розрахована на тривалу експлуатацію за високих навантажень. Кожен вид обладнання підтримує закладену амплітуду низьких температур і виконує покладені на нього функції.

Холодильники будь-яких конфігурацій створені для того, щоб забезпечувати температурні умови від 0 °С до + 6 °С (іноді до + 10 °С), в той час як промислові морозильники гарантують –18 °С (деякі навіть до –48 °С) при зовнішній температурі повітря до + 43 °С.

Для різноманітних продуктів харчування використовують різне холодильне обладнання зважаючи на різні характеристики вхідних продуктів, яким потрібні відповідні умови охолодження. При виборі оптимального енергетичного обладнання беруть до уваги багато чинників, які можуть мати прямий або непрямий вплив на вихідний продукт та його якість.

Заморожування — зниження температури нижче точки замерзання соків харчових продуктів, так званої кріоскопічної точки. Майже вся рідина, що знаходиться в продукті, замерзає, тому припиняється діяльність мікрофлори і ферментів. Заморожені продукти можуть зберігатися тривалий час за умови підтримки стабільно низької температури. Кріоскопічна точка визначається кількістю розчинених у клітинному соку речовин. Для м'яса вона лежить в межах від +0,6 до +1,2 °С, для молока становить +0,55 °С, для яєць –0,5 °С, риби — від –0,6 до –2 °С.

Продукти заморожуються в морозильних камерах, де температура становить від -30 до -40 °С. Для продуктів, які планується зберігати протягом нетривалого часу, температура може бути на рівні від -8 до -12 °С. Тривале зберігання заморожених продуктів вимагає температури не вище -18 °С.

При виборі обладнання для заморозки високоякісних продуктів харчування на сьогоднішній день використовується безліч різних способів підвищення енергоефективності холодильних установок. Розглянемо лише деякі з них, які надають найбільший вплив на ефективність роботи і не потребують значних витрат коштів, такі як:

- використання частотних перетворювачів обертання двигунів компресорів;
- установка системи управління вентиляторами конденсатора;
- застосування більш ефективних холодоагентів;
- врахування географічного розташування при виборі холодильної установки;
- раціональне використання тепла, що віддається холодильним обладнанням;
- оснащення кожної конкретної холодильної установки або холодильного комплексу власною системою автоматизації;
- використання енергоефективних компресорів;
- застосування плавного регулювання продуктивності компресорів;
- оптимізація роботи обладнання при мінімальному навантаженні;
- застосування агрегатів з двоступінчастим стисненням.

Для тривалого холодного зберігання харчових продуктів зі збереженням їх якості застосовується заморожування. Зараз в замороженому вигляді реалізуються не тільки такі продукти, як морозиво, м'ясо, риба, морепродукти, овочеві асорті, але і досить велика кількість кулінарних продуктів, починаючи від кондитерських виробів, зокрема, тортів, тістечок і бісквітів, і закінчуючи піцою та хлібом. Споживання заморожених продуктів постійно зростає в усьому світі. У розвинених країнах, наприклад, у Франції, за останні 10–15 років воно збільшилося в 10–15 разів, досягнувши рівня 35–40 кг на душу населення за рік.

Для заморожування існує багато способів, машин та апаратів, але з великим відривом випереджає один енергоефективний спосіб, який має ряд переваг. Шокове заморожування дозволило вирішити питання зі зберіганням в промислових масштабах продуктів харчування, напівфабрикатів, м'яса, риби, овочів і фруктів.

Сьогодні найбільш поширеним способом зберігання харчових продуктів є розміщення в холодильних камерах. Однак, звичайне заморожування не дозволяє зберігати продукти занадто довго, та й якість розморожених продуктів в більшості випадків різко знижується. І тут на допомогу приходять шокове заморожування — технологія, яка стала справжнім проривом для бізнесу, ресторанного господарства, споживачів. Основна ідея цього процесу в максимальному прискоренні режимів охолодження продукту. Був встановлений тісний взаємозв'язок між швидкістю заморожування і якістю харчових продуктів. Численні експерименти підтверджують вплив тривалості заморожування на величину кристалів льоду, на структуру і склад ферментів продукту. Шокове заморожування — це швидке охолодження в спеціальних приміщеннях, наприклад, камерах шокової заморозки боксового типу, при температурі близько -35 °С.

Тривале зберігання продуктів харчування зі збереженням їх високих споживчих властивостей забезпечують агрегати шокової заморозки. Головне призначення цього обладнання полягає в тому, щоб уникнути утворення великих кристалів льоду, що руйнують тканини та міжтканинні оболонки.

Апарат шокової заморозки представляє собою пристрій, за допомогою якого можна охолодити (до $+3$ °С) або заморозити (до -25 °С і нижче) великий обсяг продукції за період часу до 90 хвилин.

Незважаючи на велику різноманітність обладнання для шокової заморозки, визначальною характеристикою машини є її конструктивна схема — бокс, тунельна камера або установка спірального типу.

Камери шокової заморозки бокси за своєю конструкцією близькі до однокамерних побутових холодильників і холодильників випарного типу. Випарник розташову-

ється вгорі або збоку камери і генерує теплопередачею холодне повітря, що опускається донизу.

Камери бічного типу відрізняються від звичайних морозильних камер тим, що в них використовується більш потужний компресор, а також один або кілька вентиляторів, потрібних для рівномірного розподілу холоду й прискорення процесу.

Бокси невеликих розмірів призначені для установки туди окремих лотків. Великі агрегати розраховані на завантаження продукції за допомогою мобільних візків. Їх використовують для заморозки м'яса, овочів, фруктів, ягід, грибів, готових страв, напівфабрикатів.

Камери шокової заморозки крім своєї високої продуктивності цікаві значною адаптивністю. За рахунок великого діапазону можливих графіків охолодження одну і ту ж лінію можна налаштувати як на заморозку м'ясних продуктів, так і на обробку рослинних продуктів.

З економічної точки зору, організація морозильного виробництва із застосуванням камер шокової заморозки, одна з найбільш доцільних. Така технологія використовується при роботі з продуктами середнього і великого розміру. Устаткування цього класу показує найбільший ефект при відносно невеликих обсягах продукції.

Тунельні камери являють собою горизонтально орієнтовані холодильно-морозильні конвеєри. Вони призначені для виробництва продуктів шокової заморозки в промислових масштабах, або для використання у великих гастрономічних торговельних мережах і в гіпермаркетах. Це обладнання має другу назву — шок-фрізери лінійного типу. Стрічка конвеєра проходить всередині камери, розділеної на кілька температурних зон. Кожна зона має свої випарники і вентилятори.

Тунельні камери передбачають безперервне використання їх протягом значних періодів (до декількох діб). Тому, корпуси і двигуни силових агрегатів винесені назовні за межі камери, що полегшує доступ до них технічних служб. Іноді компресори та вентилятори дублюються для можливості ремонту без зупинки лінії.

Для самоочищення конвеєрних стрічок і попередження наморожування конденсованого повітря в робочих зонах передбачаються спеціальні заходи.

Тунельні камери з використанням рідкого азоту в якості холодоагенту вимагають більш витратних технічних рішень. Однак, у ряді випадків криогенні агрегати допомагають заощадити кошти за рахунок значного скорочення необхідної площі цеху або ділянки.

Спіральні камери оснащуються циліндричними камерами, розташованими вертикально. Усередині циліндрів монтуються конвеєри спіральної форми. На відміну від тунельної шокової заморозки, фізичні параметри обробки в спіральних камерах постійні на всіх ділянках конвеєра — від завантаження до вивантаження продукції.

Сучасні машини цього типу оснащені системами антинаморожування і оперативного очищення, що дозволяє збільшувати цикл безперервної роботи до 14 діб.

Енергоефективність можна визначити як можливість отримання більшої віддачі від роботи обладнання при менших енерговитратах.

Можна виділити такі способи підвищення енергоефективності систем холодопостачання:

- застосування сучасного енергоефективного обладнання, в тому числі з маркуванням відповідності ERP (Ecodesign 2009 / 125 / EC);
- застосування технології для зміни температури кипіння холодоагенту VRT;
- застосування чілерів з удосконаленими конструкціями компресорів, переважно безмасляного типу;
- застосування мікроканальних теплообмінників;
- застосування VVR технології змінного ступеня стиснення холодоагенту;
- застосування IDV технології з проміжним випускним клапаном;
- застосування VPF систем зі змінною витратою води на випарнику;
- застосування систем з розширеними опціями обладнання холодильних машин (функціями фрікулінга, часткової та повної рекуперації скидного тепла, тощо);

— удосконалення принципів схем холодопостачання будівель (рівні резервування, відмова від проміжного гликолевого контуру, зрошувані градирні, рекуперація тепла / холоду тощо);

— оптимізація алгоритмів управління обладнанням (вибір параметрів регулювання, змінну витрату холодоносія тощо);

— зниження встановленої потужності системи холодопостачання завдяки коректному обліку сезонної динаміки зміни зовнішнього клімату і акумулюючої здатності конструкцій будівлі;

— застосування вдосконалених систем акумуляції холоду (технології «Cristopia» та ін.);

— зниження потреби в холоді центральних кондиціонерів застосуванням непрямого випарного охолодження і систем утилізації холоду в роторних абсорбційних теплообмінниках;

— рекуперація тепла конденсатора холодильної машини, що може бути виконана шляхом додаткового опціонального оснащення. Рекуперація може бути реалізована при різних схемах холодильного центру (повітряохолоджуючий конденсатор, водоохолоджуючий конденсатор, проміжний теплообмінник та ін.).

Висновки. Визначено, що інтегральним показником енергоефективності камер є споживання холоду за одиницю часу на тонну продукції. Споживання електроенергії на вироблення холоду залежить від температурних режимів в камерах. Відповідно до відомих термодинамічних характеристик холодильних машин, зі зниженням температури в камерах питомі витрати електроенергії на вироблення холоду зростають. Однак цей очевидний фактор зміни енергоемності вироблення холоду слід враховувати лише при суттєвих коливаннях температури камер певного цільового призначення. Для реальних виробничих умов вихідною базою енергетично-економічного аналізу роботи холодильних камер є теплові баланси. Баланси теплонадходжень можуть бути отримані трьома способами: розрахунковим, дослідним та дослідно-аналітичним.

Виявлено, що основним етапом енергетично-економічного аналізу є розробка математичних та багатофакторних кореляційних моделей енергетичних характеристик холодильних камер, які визначають залежність питомих витрат холоду (або електроенергії) на холодильну обробку продукції від основних «динамічних» параметрів їх експлуатації.

Запропоновано для використання шокову заморозку, як оптимальний з точки зору енергетичних витрат спосіб виробництва заморожуваних продуктів харчування.

Проведено аналіз та добір обладнання для виробництва заморожуваних продуктів харчування, оптимального за критерієм енергоефективності.

Розглянуто основні завдання оперативного управління компресорними холодильними установками, принципи побудови системи управління на основі діагностики режимів роботи обладнання та вибрано стратегію управління компресорними установками з урахуванням нелінійних параметрів процесів холодозабезпечення холодильних камер.

Список літератури

1. Остапенко О. В., Зімін О. В., Подмазко І. О., Хмельнюк М. Г. Шляхи підвищення енергоефективності холодильної установки підприємства харчової промисловості. *Холодильна техніка та технологія*. 2016. № 52 (6). С. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.

2. Подмазко І. О. Підвищення ефективності роботи холодильного устаткування при термообробці харчових продуктів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.05.14 «Холодильна, вакуумна та компресорна техніка, системи кондиціонування» / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : ОНАХТ, 2013. 20 с.

3. Грищенко В. О. Типові технологічні процеси і холодильне обладнання для зберігання рослинної продукції: моделювання, динамічні режими, керування : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 248 с.

4. Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Ларін О. О. Моделювання холодильного обладнання для зберігання плодово-овочевої сировини. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. Вип. 2 (43). С. 131–138. doi : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-131-138.

5. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М., Расчехмаров І. В. Удосконалення систем контролю та керування процесом заморожування продукції в холодильних камерах промислових холодильників. *Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки»*. 2022. Вип. 1 (305). С. 247–255. doi: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-247-255.

6. Хорольський В. П., Омельченко О. В., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Петрушина Ю. М. Холодозабезпечення холодильних камер смарт-промислових холодильників із системами нейро-нечіткого керування процесами заморожування продуктів харчування. *Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки»*. 2021. Вип. 6 (303). С. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.

7. Котов Б. І., Грищенко В. О. Моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери та структури системи автоматичного керування (САК) температурно-вологісним режимом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 39. С. 62–67.

8. Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г., Тарасюк Р. М. Розроблення автоматизованої системи керування обладнанням овочесховища на базі нечітких нейронних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Вип. 1 (53). С. 50–54.

9. Грищенко В. О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодовоовочесховищах: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.07. Київ, 2016. 212 с.

10. Automatic controls for industrial refrigeration systems. Retrieved from: <https://web.fe.up.pt/~ee99259/projecto/conteudo%20teorico/artigos/Automatic%20Controls%20for%20Industrial%20Refrigeration%20Systems.pdf>.

11. Бесараб О. М., Біляєв В. Л. Керування збудженням синхронних двигунів з метою зниження перетоків реактивної потужності та сплати за них. *Електромашинобудування та електрообладнання*. 2006. Вип. 66. С. 335–336.

References

1. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. G. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidpriemstva kharchovoi promyslovosti* [Power efficiency opportunities for industrial refrigeration system of food processing enterprise]. *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration Engineering and Technology], no. 52(6), pp. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.

2. Podmazko, I. O. *Pidvyshchennia efektyvnosti roboty kholodylnoho ustatkuvannia pry termoobrobtsi kharchovykh produktiv* [Increase of efficiency of work of refrigeration equipment during heat treatment of food products]. Odesa, ONAFT, 2013, 20 p.

3. Hryshchenko, V. O. *Typovi tekhnolohichni protsesy i kholodylne obladnannia dlia zberihannia roslynnoi produktsii: modeliuвання, dynamichni rezhymy, keruvannia* [Typical technological processes and refrigeration equipment for storage of plant products: modeling, dynamic modes, control]. Kyiv, Komprint Publ, 248 p.

4. Omelchenko, O. V., Tsvirkun L. A., Larin, O. O. (2021). *Modeliuвання kholodylnoho obladnannia dlia zberihannia plodovoovochevoi syrovyny* [Simulation of a refrigeration installation for fruit and vegetable raw materials]. *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], 2(43), 131–138. doi : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-131-138.

5. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Petrushyna, Yu. M., Raschekhmarov, I. V. (2022). *Udoskonalennia system kontroliu ta keruvannia protsesom zamorozhuvannia produktsii v kholodylnykh kamerakh promyslovykh kholodylnykh* [Improvement of systems for monitoring and controlling the process of freezing products in refrigerating chambers of industrial refrigerators]. *Visnyk KhNU. Serii «Tekhnichni nauky»* [Bulletin of KhNU. Series «Technical Sciences»], 1(305), pp. 247–255. doi: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-247-255.

6. Khorolskyi, V. P., Omelchenko, O. V., Korenets, Yu. M., Honcharenko, V. A., Petrushyna, Yu. M. (2021). *Kholodozabezpechennia kholodylnykh kamer smart-promyslovykh kholodylnykh iz systematy neuro-nechitkoho keruvannia protsesamy zamorozhuvannia produktiv kharchuvannia* [Cold safety of refrigerating chambers of smart industrial refrigerators from

unexpected neuro-fuzzy curing by the processes of freezing foodstuffs], *Visnyk KhNU. Seriya "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of KhNU. Series "Technical Sciences"], no. 6(303), pp. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.

7. Kotov, B.I., Grishchenko, V.O. (2010). *Modelyuvannya perekhidnykh rezhymiv obladnannya kholodylnoyi kamery ta struktury systemy avtomatychnoho keruvannya (SAK) temperaturno-volohisnym rezhymom* [Modeling of transient modes of refrigeration chamber equipment and structure of automatic control system (ACS) by temperature-humidity mode]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn* [Design, manufacture and operation of agricultural machinery], no. 39, pp. 62–67.

8. Ermilova, N. V., Kislytsia, S. G., Tarasyuk, R. M. (2019). *Rozroblennya avtomatyzovanoyi systemy keruvannya obladnanniam ovocheskhovyshcha na bazi nechitkykh neyronnykh merezh* [Development of an automated control system for vegetable storage equipment based on fuzzy neural networks]. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zviazku* [Control, navigation and communication systems], no. 1(53), pp. 50–54.

9. Grishchenko, V.O. (2016). *Avtomatyzatsiya protsesu keruvannya kholodylnym obladnanniam v plodoovocheskhovyshchakh* [Automation of refrigeration equipment management process in fruit and vegetable storages]. Kyiv, 212 p.

10. Automatic controls for industrial refrigeration systems. Retrieved from <https://web.fe.up.pt/~ee99259/projecto/conteudo%20teorico/artigos/Automatic%20Controls%20for%20Industrial%20Refrigeration%20Systems.pdf>.

11. Besarab, O. M., Biliaiev, V. L. (2006). *Keruvannia zbudzhenniam synkhronnykh dvyhuniv z metoiu znyzhennia peretokiv reaktyvnoi potuzhnosti ta splaty za nykh* [Controlling the excitation of synchronous motors in order to reduce reactive power flows and pay for them], *Elektromashynobuduvannia ta elektroobladnannia* [Electrical engineering and electrical equipment], issue 66, pp. 335–336.

Objective. *The purpose of this article is to find ways to improve the quality of cooling processes of cooling and freezing of food of different nature in conditions of limited parameters of the energy system.*

Methods. *The work uses the methods of technical diagnostics, system analysis, mathematical modeling, situational management, collection and processing of knowledge, decision theory, including the use of artificial intelligence tools.*

Results. *The article presents a mathematical model for creating energy-efficient refrigeration units, based on the theoretical studies carried out, a method for selecting technological equipment is developed and calculations of energy-efficient modes of operation of equipment for the production of chilled and frozen food products are presented, a methodology for the formation of diagnostic models for complex processes, phenomena, aggregates, based on the structuring of disorders according to common symptoms. The scientific novelty of the expected results lies in the development of an intelligent control system for an energy-efficient refrigeration plant using automation elements. It has been determined that the integral indicator of the energy efficiency of the chambers is the consumption of cold per unit of time per ton of products, and the initial basis for the energy and economic analysis of the operation of refrigerators in real production conditions is the heat balances that can be obtained by calculation, experimental and experimental-analytical methods. It was revealed that the main stage of the energy-economic analysis is the development of mathematical and multifactorial correlation models of the energy characteristics of refrigeration chambers, which determine the dependence of the specific costs of cold (or electricity) for the refrigeration treatment of products on the main dynamic parameters of their operation. The analysis and selection of the optimal equipment according to the criterion of energy efficiency in the production of frozen food was carried out. Blast freezers are defined as the energy-optimal equipment for freezing foodstuffs. The main tasks of operational control of compressor refrigeration units, the principles of building a control system based on the diagnostics of equipment operation modes are considered, and a strategy for controlling compressor units is selected taking into account the nonlinear parameters of the processes of refrigeration supply of refrigeration chambers.*

Keywords: *cooling, freezing, industrial refrigerator, compressor, refrigerating machine, energy efficiency, power consumption, synchronous motor, asynchronous motor, reactive power.*

ЗМІСТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

<i>Слащева А. В., Гітцевич В. А., Боднарук О. А.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МАРМЕЛАДУ НА ОСНОВІ ПЮРЕ З ГАРБУЗА ТА ОСВІТЛЕНОЇ ПІДСИРНОЇ СИРОВАТКИ	5
<i>Сімакова О. О., Горайнова Ю. А., Пусікова О. А., Василевська А. О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК АМАРАНТУ БАГРЯНОГО В ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ	14

ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

<i>Горайнова Ю. А., Сімакова О. О., Єріс Ю. В., Гусак Є. Р., Домашук А. Є.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОСЛИННИХ ДОБАВОК НА ЯКІСТЬ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ	21
---	----

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

<i>Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Луценчин М. С., Баландіна С. В.</i> МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ АПАРАТУ З КОНСЕРВУВАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ.....	29
<i>Цвіркун Л. О., Омельченко О. В., Цвіркун С. Л., Хлівна О. А.</i> АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ МЕХАНІКИ ПІД ЧАС РУХУ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ НА СОРТУВАЛЬНОМУ ПРИСТРОЇ	37
<i>Дейниченко Г. В., Гузенко В. В., Дмитревський Д. В., Золотухіна І. В.</i> АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ МЕМБРАННОГО РОЗДІЛЕННЯ ХАРЧОВИХ РІДИН	44

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М.</i> ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ В ТЕМПІ З ПРОЦЕСОМ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ	53
<i>Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Омельченко О. В.</i> ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	66

CONTENTS

MODERN FOOD TECHNOLOGIES

- Slashcheva A. V., Gnitsevych V. A., Bodnaruk O. A.*
DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MARMELAD TECHNOLOGY BASED
ON PUMPKIN MASH AND LIGHTENED CURRENT WHEY 5
- Simakova O. O., Goriainova Iu. A., Pusikova O. A.,
Vasylevska A. O.*
STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ADDITIVES OF PURPLE AMARANTH
IN THE TECHNOLOGY OF BAKERY PRODUCTS14

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

- Goriainova Iu. A., Simakova O. O., Yeris Yu. V.,
Husak Y. R., Domashuk A. Ye.*
STUDY OF THE INFLUENCE OF VEGETABLE ADDITIVES
ON THE QUALITY OF BAKERY PRODUCTS21

IMPROVEMENT OF PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD PRODUCTION

- Omelchenko O. V., Tsvirkun L. A., Luchenchin M. V.,
Balandina S. V.*
MODEL OF THE AUTOMATED HEAT TREATMENT SYSTEM FOR THE DEVICE
FOR CANNING FRUIT AND VEGETABLE RAW29
- Tsvirkun L. A., Omelchenko O. V., Tsvirkun S. L.,
Khlivna O. A.*
AUTOMATED CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES USING
THE METHODS OF MECHANICS DURING THE MOVEMENT OF FRUIT
AND VEGETABLE RAW AT THE SORTING DEVICE37
- Deynichenko G. V., Guzenko V. V., Dmytrevsky D. V.,
Zolotukhina I. V.*
ANALYTICAL REVIEW OF MODERN METHODS OF INTENSIFICATION
OF MEMBRANE SEPARATION OF FOOD LIQUIDS44

DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE HIGH-EFFICIENT FOOD INDUSTRY EQUIPMENT

- Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Petrushyna Yu. M.*
EVALUATION OF THE OPERABILITY OF REFRIGERATION
MACHINES OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS AT A PACE
WITH THE REFRIGERATION PROCESS.....53
- Khorolskyi V. P., Korenets Yu. M., Omelchenko O. V.,*
WAYS TO SOLVING THE ISSUE OF THE OPTIMAL CHOICE
OF EQUIPMENT FOR COOLING AND FREEZING FOOD BASED
ON ITS ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT.....66

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Наукове видання

**ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

№ 1 (44) 2022

Тематичний збірник наукових праць

Українською та англійською мовами

Підписано до друку 07.07.2022 р.
Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура «Newton C». Друк — лазерний.
Ум. друк. арк. 9,07. Обл.-вид. арк. 8,44.
Наклад 60 прим. Зам. № 28.

ФОП Маринченко С. В.
вул. Героїв АТО, 81-а, оф. 109,
м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., 50086
Свідоцтво про державну реєстрацію № 030567 від 19.01.2007 р.
тел. (067) 539-66-81