

ISSN 2079-4827

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

# **ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

*Тематичний збірник наукових праць*

**№ 2 (45) 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 технологічний університет); *Гейер Г. В.*, канд. техн. наук, д-р техн. наук (Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського); *Гніщевич 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); *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 № 5 від 22.12.2022 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: obladdnannya@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 2 (45) 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); *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. 5 dated 22.12.2022).***

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 : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-5-13

UDC 664.5:664.87

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>1</sup>*

*Bodnaruk O. A., Assistant<sup>1</sup>*

*Zhushman A. O., A graduate of a master's degree<sup>1</sup>*

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

## DETERMINATION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FUNCTIONAL MEAT AND FISH MINCED SEMI-FINISHED PRODUCTS

УДК 664.5:664.82

*Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*

*Боднарук О. А., асистент<sup>1</sup>*

*Жушман А. О., здобувач ОС магістра<sup>1</sup>*

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

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ М'ЯСНИХ І РИБНИХ ПОСІЧЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

*Objective is theoretical substantiation and experimental determination of optimal technological parameters of functional meat and fish chopped semi-finished products.*

*Methods. Meat and fish minced products, two- and three-time grinding, containing 20%, 25% and 30% of the functional additive were selected for the research. The range of variation in the additive content is chosen based on the preliminary organoleptic evaluation of semi-finished products and finished products. Each experiment was carried out in triplicate, and the measurement error of the recorded values (temperature differences) was 5%, provided by a high-precision potentiometer EZ-9. When calculating the amount of moisture, the accuracy of measuring the mass of moisture in the sample in absolute units was  $\pm 0.5 \times 10^{-3}$  kg. The weight of the studied samples was from 20 to 25 g, which provided sufficient sensitivity in the experiment regarding the process of crystallization of the aqueous phase of the products. The temperature in the thermostat (environment) was maintained at a constant  $-18^{\circ}\text{C}$ . Lines recorded by a continuous automatic potentiometer were digitized using the Grafula 3 software, and then approximated by a polynomial function of the 5th degree in the Mathcad environment. The approximating function was differentiated to determine the inflection points on the curve and to determine the limits of integration when finding the area under the section of the curve that corresponds to the freezing of water in the sample. The technique is based on a low-temperature calorimetric method of measuring the amount of heat released during freezing of free moisture in food raw materials.*

*Results. The thermophysical properties of model chopped masses based on meat and fish with a functional additive were studied. The influence of the grinding frequency and additive concentration on the ratio between frozen (free) and non-frozen (bound) water was determined. The optimal technological parameters for the production of semi-finished products have been determined. It has been established that the functional vegetable additive in minced meat and fish products contributes to the increase in the proportion of unfrozen moisture at temperatures up to  $-18^{\circ}\text{C}$ . With two-fold grinding, the rational value of the additive should be considered 25%, and with three-fold grinding — up to 30%. In the latter case, the factor limiting the introduction of the additive is the organoleptic indicators of the finished products while maintaining the high moisture-retaining capacity of the semi-finished product.*

Надійшла до редакції 10.11.2022 р.

© А. В. Слащева, С. Ю. Попова, О. А. Боднарук,  
А. О. Жушман, 2022

**Key words:** *model minced masses, functional plant additive, thermophysical properties, frozen moisture, technological parameters.*

**Formulation of the problem.** One of the ways to solve the problem of creating new products of increased nutritional value is to combine animal raw materials with raw materials of vegetable origin, which allows to obtain products with a high content of animal protein, enriched with natural biologically active compounds. Among the variety of combined products, chopped meat and fish masses are of particular interest to scientists, adjusting their composition through the introduction of plant additives allows expanding the consumption of non-traditional plant raw materials in food in the form of traditional culinary products for consumers.

In today's unfavorable environmental conditions, medical and biological requirements for the chemical composition, biological and functional properties of food products cannot be sufficiently satisfied without the use of non-traditional ingredients — carriers of certain specific therapeutic and preventive properties. Therefore, the most important problem today is the search for promising sources of raw materials, the development of methods of their processing and use in food, as well as the study of the biological value of new products and the specifics of their impact on the human body. In this aspect, Jerusalem artichoke deserves the special attention of scientists, which, thanks to the content of biologically active substances, has antitoxic, antistress, adaptogenic, immunostimulating and other types of biological activity, for which it is considered a valuable component of dietary and medical nutrition.

The theory of functional nutrition requires a new approach to the development of technologies of functional products, which is based on professional knowledge of nutrientology [1]. The justification and creation of products containing functionally interdependent ingredients of different nature and structure should be based on reliable facts about their functional impact (taking into account synergistic and complex action) on the metabolic and regulatory functions of the body.

Among the variety of products for mass consumption (as objects of enrichment), chopped meat and fish masses are of particular interest to scientists, the technologies of which allow introducing plant additives into their composition [2]. This makes it possible to expand the assortment of cut products and give them the status of functional products.

Both domestic and foreign scientists are dealing with the problem of developing technologies for combined chopped semi-finished products with the use of plant additives. The analysis of literary sources on this issue shows that among the main requirements for the quality of combined products, the optimization of the main parameters of the technological process of the production of combined products occupies a special place.

**Analysis of recent research and publications.** A significant volume of theoretical and practical research on the study of the technological properties of combined minced food products is reflected in the scientific works of leading scientists of Ukraine and foreign countries: M. I. Pogozhii, M. O. Yancheva, M. G. Gaparova, A. F. Doronin, F. Bellisle, A. T. Diplock, G. Hornstra, P. M. Verschuren and other scientists.

Despite the availability in the research literature of a large amount of information [2, 8–14] regarding the effect of freezing-thawing on meat raw materials, including chopped meat, the absolute values of its physicochemical, thermophysical and other indicators are within wide limits (due to the use raw materials with an individual chemical composition and the use of different methods of freezing), and without experimental determination cannot be used to assess the course of phase and phase-structural transformations.

It is known that during freezing of meat and its storage at low temperatures, a whole series of physico-chemical phenomena takes place in it: freezing of moisture, crystal formation, structural changes in tissues [3].

According to [4], the process of moisture freezing is a process of liquid transformation into crystals, and its essence is expressed in the transition of moisture from a liquid to a solid crystalline substance. For such a multicomponent system as tissue fluid, this process is quite



complex. Unlike pure water, the freezing point (cryoscopic point) of such a solution is lower than 0° C and corresponds to its ionic and molecular concentration. Meat juice begins to freeze at temperatures of –0.6° C...–1.2° C [5]. The freezing of water from the intercellular fluid leads to the formation of hypertonic solutions, the concentration of which increases all the time in accordance with the decrease in temperature [6]. This process continues until the concentration of substances dissolved in the liquid phase reaches the concentration of the lowest point — the so-called eutectic freezing point, which for muscle tissue is in the range –59° C...–64° C [7].

The nature of crystal formation depends on the state of the cell membranes, the concentration of substances dissolved in the cells, the degree of hydration of proteins and other properties of the product. Among the factors affecting crystal formation, scientists recognize that the speed of freezing is the most important [8]. The higher the freezing speed, the less damage to the muscle tissue structure and the higher the quality of the frozen product [9].

Works [10–14] proved that acceleration of the freezing process can be achieved by reducing the thickness of the product, lowering the temperature of the cooling medium, and increasing the coefficient of heat transfer from the product to the medium.

During slow tissue freezing, crystallization centers are formed earlier in the intercellular space, since the intercellular fluid has a slightly lower concentration, which means that the value of the cryoscopic point is higher than the intracellular one. But as soon as they are formed, the concentration of intercellular fluid and its osmotic pressure increase, water diffuses from the cell into the intercellular space. At the same time, large crystals are formed in the intercellular substance, which press on the cells, causing stretching and partial destruction of their structures [11].

According to [12], rapid freezing of meat leads to the formation of ice crystals not only in intercellular spaces, but also in cells. The speed of their formation is higher than the speed of movement of moisture, so a significant part of the liquid turns out to be frozen where it was before freezing. With this method of freezing, small ice crystals are formed, which are evenly distributed in the cells and intercellular space. In this case, the nature of the distribution of frozen water is little different from the nature of its distribution in fresh meat, and almost no histological changes are observed in the muscle tissue.

The formation of large ice crystals in the practice of freezing meat is an undesirable phenomenon. During freezing, the volume of water increases by 10%. In the case of the formation of large crystals and an increase in volume, the intercellular space expands and the connective tissue layers are destroyed by the sharp edges of the crystals, the tissue loosens, the muscle fibers are deformed and sometimes destroyed. Freezing, thus, is accompanied by significant tissue changes. The size and nature of the distribution of crystals in tissues and the related degree of destruction of morphological structural elements determine the size of tissue fluid (meat juice) losses during defrosting of meat and its subsequent mechanical processing (demolition, veining).

Works [11– 13] proved that the degree of decrease in the hydrophilicity of proteins depends on the speed of meat freezing, the depth of autolysis of meat before freezing, the conditions and duration of meat storage. The maximum native properties of meat proteins are preserved under the condition of rapid freezing of steamed meat. The greatest destruction of the morphological structure occurs in the case of freezing of meat in a state of complete postmortem conjuration.

Many researchers associate damage to the native structure of proteins during freezing with the effect of concentrated salt solutions. At the same time, both the direct influence of electrolytes through the neutralization of protein functional groups, the modification of ion dipole interactions between polar amino acid residues, and the disruption of the stabilization layer of dipoles around the macromolecule are possible [51].

During freezing, mechanical damage to protein chains is possible due to the stresses that arise in the tissues in the event of the formation and growth of crystals exceeding the energy of the covalent bond.

The process of aggregation of myofibrillar proteins, which is accompanied by the formation of insoluble complexes, leads to a decrease in the hydrophilic properties of meat, a decrease in

moisture-binding capacity and an increase in stiffness, and increases the resistance of proteins to the action of proteolytic enzymes [56].

Thus, the creation of new types of frozen combined chopped products requires careful substantiation of the moisture-retaining properties of the functional additive to chopped masses, including the study of the behavior of combined minced meat during and after freezing.

**Objective of the article** — theoretical substantiation and experimental determination of optimal technological parameters of functional meat and fish chopped semi-finished products.

**Presentation of the main study material.** Chopped culinary products are heterogeneous systems in which moisture has different forms of connection with dry matter. The state of moisture in such products is influenced by many factors: the nature and amount of ingredients in the recipe; methods of mechanical preliminary processing; mass ratios of ingredients; food additives and spices, etc. Information on the behavior, structure, and properties of bound moisture in a wet product is the starting point for analyzing its behavior during storage as a semi-finished product and heat treatment. It is known [14] that the amount and structure of bound moisture depend on the intensity of heat and mass transfer processes during thermal action, which in turn is determined by the initial characteristics of the humidity of the object being studied. Moisture determines the juiciness of the finished chopped product, the consistency, and the output of the finished product. Therefore, for the scientific justification of the technologies being developed, it is necessary to study the influence of technological methods on the ratio of different types of moisture.

When studying the behavior of moisture by known methods in high-moisture ground meats of chopped products, some difficulties arise. Thus, the tensometric method is quite long and cannot be applied to objects outside the hygroscopic state of wet material. Disadvantages of radio spectroscopic methods, such as NMR, are difficulties in identifying different forms of moisture in high-moisture material, so it is required to use additional methods that separate the contained water into free and bound, for example, drying or freezing. These techniques are additional factors that complicate the measurement technique and irritate the sample itself. In addition, the results obtained by such methods of indirect analysis do not always satisfactorily correlate with the thermodynamic characteristics of the object. Therefore, a method was chosen that allows you to examine samples with different moisture content and different consistency.

Meat and fish model chopped masses, two- and three-time grinding, containing 20%, 25% and 30% Jerusalem artichoke additives (to the mass of the main raw material) were selected for research. The range of variation in the content of the additive is chosen based on the preliminary organoleptic evaluation of semi-finished products and finished products. In fig. 1 presents examples of averaged thermograms for the studied samples.

To facilitate the analysis of the shape of the curves, they are given on a relative scale, which was obtained by normalizing the current values of the signal intensity to the maximum intensity and the current moment of time to the total cooling duration of the given sample.

First of all, it should be noted the high sensitivity of the applied method to the condition of the samples: the figures clearly show that depending on the sample preparation technology, the shape of the curve (local extremes, inflections, slopes) changes its appearance, amplitude and position along the coordinate axes.

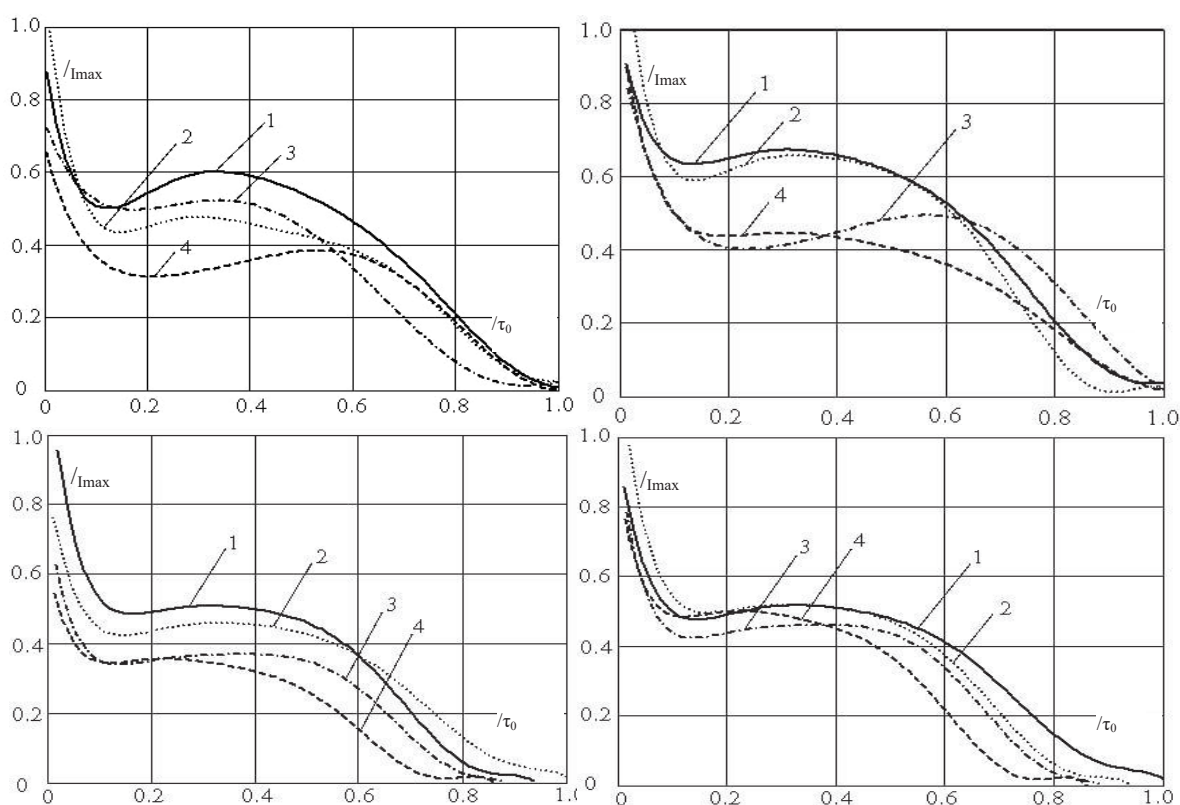
It should be noted that a general or characteristic tendency for chopped meat and fish products is that the increase in the grinding rate from two to three times is fixed by the effect of «convergence» of the cooling curves of the samples. This can be explained by the fact that the shape of the curve itself depends on many factors and, in particular, on the thermophysical characteristics of the sample under study, namely on thermal conductivity. It is thermal conductivity that determines the rate of deepening of the water crystallization zone under the same conditions for heat exchange with the coolant. Since it is obvious that the samples become more homogeneous in their structure during three-fold grinding, the differential thermocouple evidence curves also converge.

As water crystallization begins in the so-called crystallization centers (usually inhomogeneities), the concentration of substances dissolved in water changes (the concentration increases,



which shifts the eutectic point toward low temperatures). In addition, the destruction (lysis) of cells occurs, due not so much to the mechanical effect of growing ice crystals, but to a change in the strength of the cell envelope (membrane). Of course, cells of animal origin have a more complex structure and contain less water than cells of plant tissues. Therefore, here and further we will only discuss the observed thermal effects (areas under the curves shown in Fig. 1).

It should be noted that the spread in the shapes and amplitudes of the curves themselves is smaller for chopped fish products, which is due, obviously, to a smaller effect of the additive on the structural and mechanical characteristics of the studied semi-finished products.

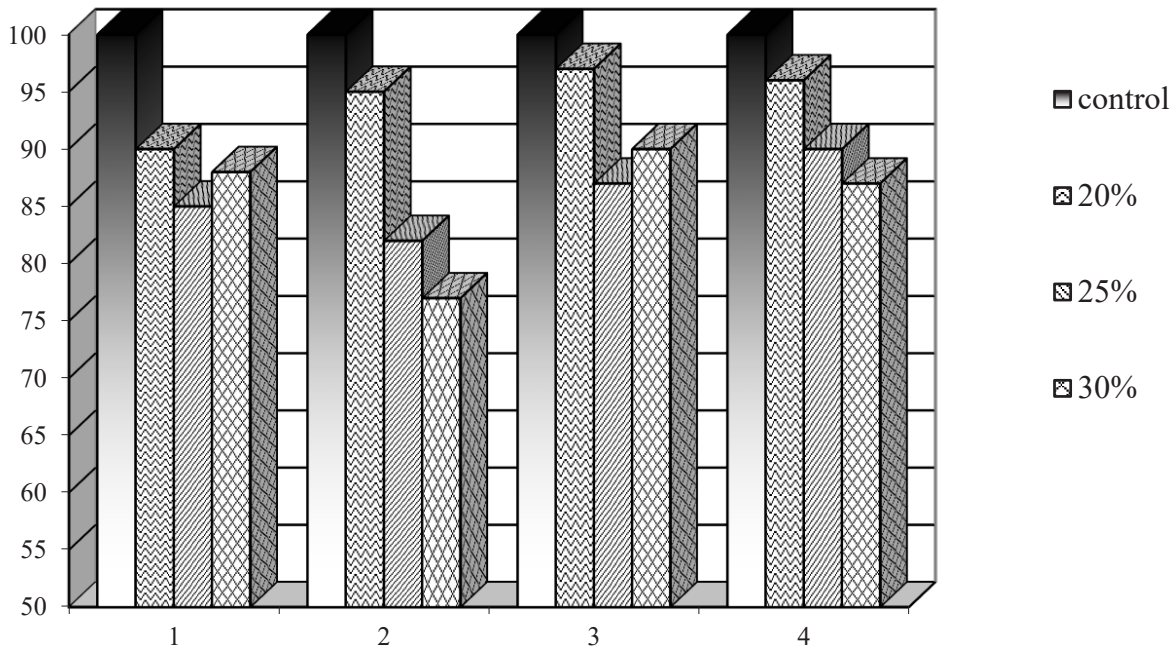


**Figure 1** — Averaged thermograms of model meat (A, Б) and fish (B, Г) chopped masses with two-fold (A, Б) and three-fold (B, Г) mincing: (1 — control; 2 — samples with a 20% supplement; 3 — samples with a 30% supplement; 4 — samples with a 25% supplement)

There is also a peculiarity in the position of local maxima for curved meat and fish cut products. This is especially visible on the temperature curves for meat semi-finished products. Depending on the amount of plant additive, this maximum shifts to the right at 25% and reverses (shifts to the left) at 30%. The presence of a maximum on the curve indicates the arrival of the moment of time when the rate of water crystallization is maximum, that is, the heat release is maximum. At the same time, the temperature of the sample itself is lower than  $0^{\circ}\text{C}$ , that is, the starting point of water crystallization shifts. This means that in this case the mass content of the plant additive plays a major role in the crystallization process. Most likely, this amount of additive in the minced meat “compensates” for heterogeneity in the thermophysical characteristics of the ingredients of the semi-finished product and the sample behaves as a whole. It is impossible to confirm with great accuracy, but the observed fact indicates a possible rational amount of plant additive as a binding substance, which ensures greater homogeneity of the chopped product.

The main results of this study are shown in fig. 2. The presented data were interpreted as follows. The area under the curve of the differential thermocouple for the studied samples was related to the corresponding area of the control ones and was multiplied by 100%. Thus, we obtained an estimate of the amount of frozen water in relation to the control.

As can be seen from Figure 2, for all tested samples, regardless of the type of chopped products and the frequency of grinding, the amount of frozen water is less than for the control. This indicates the effect of the plant functional additive on the ratio between frozen (free) and non-frozen (bound) water. At the same time, it should be noted that this indicator to a certain extent



**Figure 2** — Amount of frozen water in chopped products with different content of functional additive relative to control samples: (1 — minced meat, 2-fold grinding; 2 — minced meat, 3-fold grinding; 3 — minced fish, 2-fold grinding; 4 — minced fish, 3-fold grinding)

has some convention in relation to the commonly used ideas about free and bound water. This is explained by the fact that the tissue structure of raw materials of animal and plant origin is somewhat different, and, first of all, due to the difference in cellular structure and intracellular chemical composition.

The results show that the introduction of the additive helps to increase the proportion of unfrozen moisture. The fact that with three-fold grinding there is no minimum in relation to the amount of additive (observed at 25%), indicates the complex effect of both additives and mechanical processing of products.

Based on this, it is possible to predict the existence of rational technological methods for obtaining the effect of increasing the moisture-retaining capacity of the studied model samples, namely: determining the optimal amount of plant additives and the frequency of grinding. According to the obtained results, it can be seen that with double grinding and a 25% additive in both meat and fish products, there is a minimum amount of frozen moisture, that is, the maximum moisture-retaining capacity of semi-finished products should be expected. There is no such minimum when grinding three times. The reason for this may be the factors outlined above, namely, the shift of the moisture crystallization point towards low temperatures and the increase in homogeneity in the minced meat structure. Therefore, in order to choose a rational value of the mass additive (higher than 25%) during three-time grinding, it is necessary to be guided, first of all, by the organoleptic indicators of the finished product and the rationality of using one more stage of mechanical processing of raw materials.

To confirm the correctness of the conclusions, the following analysis can be performed. As you know, any moist material is characterized by two states in relation to the environment at a given temperature: moist, which is non-equilibrium, and in this state the moisture evaporates, and hygroscopic — equilibrium, at a given value of air humidity, the material has the so-called equilibrium moisture content. It is in the area of the hygroscopic state that the energy of moisture connection with the material is determined. The extreme point of the hygroscopic

state is determined at a relative air humidity equal to 100% and for most types of raw materials containing protein, it is difficult to determine due to the deterioration of the product before the equilibrium occurs. But for most food products, this extreme point is characterized by an equilibrium moisture content in the range of 35% to 60%. At the same time, moisture content (but not moisture content) is defined as the ratio of the mass of water in the product to the mass of the dry residue. According to the results obtained above, it was found that the amount of unfrozen water in 100 g of minced meat varies from 17 g (for control) to 22 g (for 30% additive and triple grinding), which in terms of the initial moisture content of these samples gives the value estimated equilibrium moisture content at 100% air humidity — 45...50%. For fish products, the amount of unfrozen water in 100 g of products varies from 15 g (for control) to 18 g (for 30% addition and triple grinding), and similar calculations give the value of the equilibrium moisture content of 40...45%. This fully correlates with the hygroscopic area of moisture content for these types of food products.

**Conclusions.** Thus, it was found that the functional plant additive to minced meat and fish products helps to increase the share of unfrozen moisture at temperatures up to -18 C. With two-fold mincing, the rational value of the additive should be considered 25%, and with three-fold mincing — up to 30%. In the latter case, the factor limiting the introduction of the additive is the organoleptic indicators of the finished products while maintaining the high moisture-retaining capacity of the semi-finished product.

### References

1. Krinitskaya, N. V. and Studentsova, N. A. (2012). *Sostoyanie i perspektivy proizvodstva farshevyih izdeliy iz rybyi* [The state and prospects of production of minced meat products fish], *Pischevaya tehnologiya* [Food technology], No. 1, P. 5–7.
2. Gardner, T. Vierck, K. R. Martini, S. Allen, K. Ban, H. Miller, R. K. Kerth, C. R. Legako, J. F. (2020). Thermophysical properties of beef steaks of varying thicknesses cooked with low and high grill surface temperatures, *Meat and Muscle Biology*, Vol. 4 (1). <https://doi.org/10.22175/mmb.10916>.
3. James Carson, Hoang Duy, Hoang Simon, Lovatt. (2022). Thermophysical properties of meat. Reference Module in Food Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00073-9>.
4. Magalhaes, A.F.B.; Teixeira, G.H.D.; Ríos, A.C.H.; Silva, D.B.D.; Mota, L.F.M.; Muniz, M.M.M.; de Moraes, C.D.M.; De Lima, K.M.G.; Cunha, L.C.; Baldi, F.; et al. (2020). Prediction of meat quality traits in Nelore cattle by near-infrared reflectance spectroscopy, *Journal of Animal Science*, Vol. 96, p. 4229–4237. <https://doi.org/10.1093/jas/sky284>.
5. Zheng, X.C.; Li, Y.Y.; Wei, W.S.; Peng, Y.K. (2019). Detection of adulteration with duck meat in minced lamb meat by using visible near-infrared hyperspectral imaging, *Meat Science*, Vol. 149, p. 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.005>.
6. Yorgov, D.; Nachev, V.; Stoyanchev, T.; Atanassova, S. (2018). Differentiation of fresh and frozen-thawed poultry breast meat by near infrared spectroscopy. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, Vol. 24, p. 162–168.
7. Ortiz, A.; Parrini, S.; Tejerina, D.; de Araújo, J.P.P.; Candek-Potokar, et al. (2020). Potential Use of Near-Infrared Spectroscopy to Predict Fatty Acid Profile of Meat from Different European Autochthonous Pig Breeds, *Applied Sciences*, Vol. 10 (17), 5801. <https://doi.org/10.3390/app10175801>.
8. Zhang, N.; Lim, S.J.; Toh, J.M.; Wei, Y.F.; Rusli; Ke, L. (2022). Investigation of spoilage in salmon by electrochemical impedance spectroscopy and time-domain terahertz spectroscopy, *ChemPhysMater*, Vol. 1, Is. 2, p. 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.chphma.2021.12.003>.
9. Fowler, S.M.; Schmidt, H.; van de Ven, R.; Hopkins, D. (2018). Preliminary investigation of the use of Raman spectroscopy to predict meat and eating quality traits of beef loins, *Meat Science*, Vol. 138, p. 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.002>.
10. Kuswandi, B.; Cendekiawan, K.A.; Kristiningrum, N.; Ahmad, M. (2015). Pork adulteration in commercial meatballs determined by chemometric analysis of NIR Spectrao,

*Journal of Food Measurement and Characterization*, Vol. 9, p. 313–323. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-015-9238-3>.

11. Dias, C.; Nunes, H.P.; Melo, T.; Rosa, H.J.D.; Silva, C.C.G.; Borba, A.E.S. (2021). Application of Near Infrared Reflectance (NIR) spectroscopy to predict the moisture, protein, and fat content of beef for gourmet hamburger preparation. *Livestock Science*, Vol. 254, 104772. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104772>.

12. Yaseen, T.; Sun, D.-W.; Cheng, J.-H. (2017). Raman imaging for food quality and safety evaluation: Fundamentals and applications, *Trends of Food Science Technology*. Vol. 62, p. 177–189.

13. Xiaohong Wu, Xinyue Liang, Yixuan Wang, Bin Wu, Jun Sun. (2022). Non-destructive Techniques for the Analysis and Evaluation of Meat Quality and Safety: *A Review, Foods*, 11 (22), 3713. <https://doi.org/10.3390/foods11223713>.

14. Yncheva, M. O. etc. (2015). *Tehnologichni aspekti virobniactva napivfabrikativ m'yasnih posichenih zamorozhenih iz vikoristannyam emulsijnih sistem* [Technological aspects of the production of frozen chopped meat semi-finished products using emulsion systems], Kharkiv, 178 p.

### Список літератури

1. Криницкая Н. В., Студенцова Н. А. Состояние и перспективы производства фаршевых изделий из рыбы. *Пищевая технология*. 2012. № 1. С. 5–7.

2. Gardner, T. Vierck, K. R. Martini, S. Allen, K. Ban, H. Miller, R. K. Kerth, C. R., Legako, J. F. Thermophysical properties of beef steaks of varying thicknesses cooked with low and high grill surface temperatures. *Meat and Muscle Biology*. 2020. Vol. 4 (1). <https://doi.org/10.22175/mmb.10916>.

3. James Carson, Hoang Duy, Hoang Simon, Lovatt. Thermophysical properties of meat. *Reference Module in Food Science*. 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85125-1.00073-9>.

4. Magalhaes, A. F. B.; Teixeira, G. H. D.; Ríos, A. C. H.; Silva, D. B. D.; Mota, L. F. M.; Muniz, M. M. M.; de Moraes, C. D. M.; De Lima, K. M. G.; Cunha, L. C.; Baldi, F.; et al. Prediction of meat quality traits in Nelore cattle by near-infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Animal Science*. 2020. Vol. 96. P. 4229–4237. <https://doi.org/10.1093/jas/sky284>.

5. Zheng, X. C.; Li, Y. Y.; Wei, W. S.; Peng, Y. K. Detection of adulteration with duck meat in minced lamb meat by using visible near-infrared hyperspectral imaging, *Meat Science*. 2019. Vol. 149. P. 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.005>.

6. Yorgov, D.; Nachev, V.; Stoyanchev, T.; Atanassova, S. Differentiation of fresh and frozen-thawed poultry breast meat by near infrared spectroscopy. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24. P. 162–168.

7. Ortiz, A.; Parrini, S.; Tejerina, D.; de Araújo, J.P.P.; Candek-Potokar, et al. Potential Use of Near-Infrared Spectroscopy to Predict Fatty Acid Profile of Meat from Different European Autochthonous Pig Breeds. *Applied Sciences*, 2020. Vol. 10 (17). <https://doi.org/10.3390/app10175801>.

8. Zhang, N.; Lim, S. J.; Toh, J. M.; Wei, Y. F.; Rusli; Ke, L. Investigation of spoilage in salmon by electrochemical impedance spectroscopy and time-domain terahertz spectroscopy. *ChemPhysMater*. 2022. Vol. 1. Is. 2. P. 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.chphma.2021.12.003>.

9. Fowler, S. M.; Schmidt, H.; van de Ven, R.; Hopkins, D. Preliminary investigation of the use of Raman spectroscopy to predict meat and eating quality traits of beef loins. *Meat Science*. 2018. Vol. 138. P. 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.01.002>.

10. Kuswandi, B.; Cendekiawan, K. A.; Kristiningrum, N.; Ahmad, M. Pork adulteration in commercial meatballs determined by chemometric analysis of NIR Spectra. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2015. Vol. 9. P. 313–323. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-015-9238-3>.

11. Dias, C.; Nunes, H. P.; Melo, T.; Rosa, H. J. D.; Silva, C. C. G.; Borba, A. E. S. Application of Near Infrared Reflectance (NIR) spectroscopy to predict the moisture, protein, and fat content of beef for gourmet hamburger preparation. *Livestock Science*. 2021. Vol. 254. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104772>.



12. Yaseen, T.; Sun, D.-W.; Cheng, J.-H. Raman imaging for food quality and safety evaluation: Fundamentals and applications. *Trends of Food Science Technology*. 2017. Vol. 62. P. 177–189.

13. Xiaohong Wu, Xinyue Liang, Yixuan Wang, Bin Wu, Jun Sun. Non-destructive Techniques for the Analysis and Evaluation of Meat Quality and Safety: A Review. *Foods*. 2022. Vol. 11 (22). <https://doi.org/10.3390/foods11223713>.

14. Янчева М. О. [та ін.]. Технологічні аспекти виробництва напівфабрикатів м'ясних посічених заморожених із використанням емульсійних систем : монографія. Харків : ХДУХТ, 2015. 178 с.

**Мета** — теоретичне обґрунтування і експериментальне визначення оптимальних технологічних параметрів функціональних м'ясних і рибних посічених напівфабрикатів.

**Методи.** Для досліджень були обрані м'ясні та рибні посічені вироби, дво- та триразового подрібнення, що містять 20%, 25% та 30% функціональної добавки. Діапазон варіювання вмістом добавки обраний з міркувань попередньої органолептичної оцінки напівфабрикатів та готових виробів. Кожен експеримент проводився з триразовою повторністю, а похибка вимірювань величин, що реєструються (різниця температур) становила 5%, що забезпечено високоточним потенціометром EZ-9. При розрахунках кількості вологи точність вимірювань маси вологи у зразку в абсолютних одиницях була  $\pm 0,5 \cdot 10^{-3}$  кг. Маса досліджуваних зразків становила від 20 до 25 г, що забезпечувало достатню чутливість в експерименті стосовно процесу кристалізації водної фази виробів. Температура в термостаті (навколишньому середовищі) підтримувалася постійною  $-18^{\circ}\text{C}$ . Записані безперервним автоматичним потенціометром лінії оцифровувалися за допомогою програмного засобу Grafula 3, а потім у середовищі Mathcad апроксимувалися поліноміальною функцією 5-го ступеня. Апроксимуючу функцію диференціювали для визначення точок перегину на кривій і визначення меж інтегрування при знаходженні площі під ділянкою кривої, що відповідає замерзанню води в зразку. Методика заснована на низькотемпературному калориметричному методі вимірювання кількості теплоти, що виділяється при заморожуванні вільної вологи у харчовій сировині.

**Результати.** Досліджено теплофізичні властивості модельних посічених мас на основі м'яса та риби з функціональною добавкою. Визначено вплив кратності подрібнення і концентрації добавки на співвідношення між вимороженою (вільною) і не вимороженою (зв'язаною) водою. Визначено оптимальні технологічні параметри виробництва напівфабрикатів. Встановлено, що функціональна рослинна добавка у фарш посічених м'ясних і рибних виробів сприяє збільшенню частки невимороженої вологи при температурі до  $-18^{\circ}\text{C}$ . При двократному подрібненні раціональною величиною добавки слід вважати 25%, а при трикратному подрібненні — до 30%. У останньому випадку чинником, лімітуючим внесення добавки, є органолептичні показники готових виробів при збереженні високої вологоутримуючої здатності напівфабрикату.

**Ключові слова:** модельні посічені маси, функціональна рослинна добавка, теплофізичні властивості, виморожена волога, технологічні параметри.



DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-14-21

УДК 664.6(045)

*Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент*<sup>1</sup>  
*Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент*<sup>1</sup>  
*Єріс Ю. В., викладач професійно-теоретичної підготовки*<sup>2</sup>  
*Кукуруза А. В., здобувач ОС бакалавра*<sup>1</sup>  
*Якимчук О. О., здобувач освіти*<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Центр підготовки і перепідготовки робітничих кадрів № 1, Кривий Ріг, Україна.

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ КІВІ, ТОПІНАМБУРУ ТА ЦИБУЛІ-СЛИЗУНА

UDK 664.6(045)

*Goriainova Iu. A., PhD in Engineering sciences, Associate Professor*<sup>1</sup>  
*Simakova O. O., PhD in Engineering sciences, Associate Professor*<sup>1</sup>  
*Yeris Yu. V., Teacher of professional and theoretical training*<sup>2</sup>  
*Kukuruzza A. V., A graduate of a bachelor degree*<sup>1</sup>  
*Yakymchuk O. O., Student*<sup>2</sup>

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

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

### DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL BREAD TECHNOLOGY BASED ON KIWI, JERUSALEM ARTICHOKE AND ONION SLIME

**Мета.** Розробка рецептури та технології двох видів хліба функціонального призначення з використанням рослинних добавок (ківі, топінамбур, цибуля-слизун), складання технологічних карток, визначення органолептичних показників розроблених хлібобулочних виробів.

**Методи.** Експериментальну частину роботи проводили в лабораторії кафедри технологій в раціональному господарстві, готельно-ресторанної справи та підприємництва ДонНУЕТ, у виробничій лабораторії ТОВ «Криворіжхліб» та лабораторії Центру підготовки і перепідготовки робітничих кадрів № 1, м. Кривий Ріг. Для проведення досліджень використовували борошно пшеничне вищого ґатунку, пшеничне обойне цілнозернове, хлібопекарське обдирне житнє в співвідношенні 1:1:1. Для збагачення тіста поживними речовинами використовували ківі, топінамбур, цибулю-слизун та бджолиний мед. Для розроблення рецептури та визначення оптимальної кількості рослинних добавок у досліджуваних хлібобулочних виробках проводили лабораторні пробні випічки. Оптимальну кількість рослинних добавок в рецептурі двох видів хліба було встановлено в результаті органолептичних і фізико-хімічних показників дослідних виробів. В роботі використовувались такі методи дослідження: аналіз наукової літератури та періодичних видань, інтернет-джерел; лабораторний експеримент; аналіз, синтез і узагальнення результатів лабораторних досліджень.

**Результати.** В результаті проведених досліджень розроблені технології двох видів хліба функціонального призначення з добавками ківі, топінамбуру, цибулі-слизуна (з використанням дріжджів та без). Складені технологічні схеми виробництва дріжджового хліба «Смачний день» та бездріжджового «Збалансований ранок», технологічні картки розроблених зраз-

Надійшла до редакції 22.10.2022 р.

© Ю. А. Горайнова, О. О. Сімакова, Ю. В. Єріс, А. В. Кукуруза, О. О. Якимчук, 2022

ків хлібу. Проведена їх органолептична оцінка. В ході експерименту підібрані оптимальні дозування функціональних інгредієнтів до маси борошна, які збагачують хліб, не погіршуючи його споживчих властивостей. Дегустаційною комісією було схвалено технологію виробництва хлібобулочних виробів з суміші пшеничного борошна вищого гатунку, пшеничного обойного цілнозернового та обдирного житнього борошна у співвідношенні 1:1:1 з добавками пюре зі свіжого ківі, топінамбура, цибулі-слизуна і бджолиного меду. Технологія виробництва хліба пройшла промислово апробацію в ТОВ «Криворіжхліб».

**Ключові слова:** функціональні продукти, хліб, хлібобулочні вироби, ківі, топінамбур, цибуля-слизун, бджолиний мед, органолептичні показники, технологічні схеми.

**Постановка проблеми.** Хлібобулочні вироби — продукт, що входить до щоденного раціону більшості населення світу. На сьогодні актуальним є виробництво хліба і булочних виробів функціонального призначення. Використання сировини рослинного походження дозволяє збагатити харчову цінність нових хлібобулочних виробів, покращити їх органолептичні і фізико-хімічні показники, збільшити терміни зберігання, розробити продукцію з покращеним хімічним складом і профілактичними властивості.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Інноваційні технології хлібобулочних виробів відбуваються різними напрямками. Розробкою спеціальних хлібобулочних виробів займаються такі вітчизняні й зарубіжні вчені, як В. І. Дробот, О. А. Кузнєцова, І. В. Матвеева, В. М. Красильников, Д. В. Шнейдер, Elke K. Arendt (Швейцарія), Eimear Gallagher, Jodi A. Engleson (США), Miyuki Fucasawa (Японія), Girard Jean Philippe (Франція) та інші. Так, проблемі безбілкових хлібобулочних виробів присвячені наукові дослідження З. І. Кучерук, О. С. Цуканової з Харківського державного університету харчування та торгівлі [1]. Вони обґрунтували рецептурні компоненти та їх співвідношення в новому безбілковому хлібі, провели дослідження перебігу біохімічних та мікробіологічних процесів у дріжджовому безбілковому тісті, зробили вибір способу приготування безбілкового тіста та параметрів випікання безбілкового хліба.

Вченими Херсонського державного аграрно-економічного університету окреслено необхідність збільшення виробництва та розширення асортименту безглютенових хлібобулочних виробів [2]. Ними встановлено, що покращення якості хлібобулочних виробів відбувається за рахунок: використання пектину або пектиновмісних харчових добавок; використання різних видів борошна; використання шротів олійних культур; використання фітосировини. Дослідники вважають, що правильний підбір борошна може не лише задовольнити потреби в есенційних речовинах, а й вживатися при певних захворюваннях, наприклад, таких як целіакія.

Розробники з Уманського національного університету садівництва встановили, що використання порошоків із плодів глоду дає можливість інтенсифікувати процес дозрівання хліба, створити більш повноцінне поживне середовище для активації дріжджів та отримати хлібобулочні вироби високої якості, більш стійкі до мікробіологічного псування та подовжити термін їх зберігання [3]. Паралельно там же проводиться удосконалення технології збагачення хліба з борошна пшеничного вищого сорту добавкою натурального походження (порошками із плодів хеномелесу). Проаналізовано і вивчено фактори, які зумовлюють необхідність підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів; проаналізовані перспективи розвитку функціонального харчування [4].

Дослідники кафедри харчових технологій Чернігівського національного технологічного університету виконують дослідження щодо впливу порошку з вичавків ягід калини (шкірка та насіння) на властивості тіста та якість пшеничного хліба. Вичавки збагачують вироби вітамінами, органічними кислотами, антиоксидантами, скорочують тривалість визрівання тіста на 25 %, порівняно з безопарним способом без внесення добавок [5]. Також вивчають технології виготовлення житньо-пшеничного хліба на заквасках із використанням базиліку [6] та перцю болгарського сухого [7]. Показано доцільність використання базиліку та перцю болгарського для скорочення тривалості технологічного процесу приготування житньо-пшеничного хліба. Отримані зразки житньо-пшеничного хліба з

додаванням досліджуваних добавок мають приємні органолептичні властивості, пористу м'якушку, привабливий колір із золотистою скоринкою. Добавки збагачують вироби вітамінами, макро- і мікроелементами, не викликають зниження споживчих та технологічних властивостей хліба.

Вчені кафедри технологій в ресторанному господарстві, готельно-ресторанної справи та підприємництва ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського також займаються створенням нових функціональних продуктів харчування, зокрема хлібобулочних, покращуючи їх властивості добавками амаранту багряного, чорноплідної горобини, шовковиці тощо [8–10].

**Мета статті** — розробка рецептури та технології двох видів хліба функціонального призначення з використанням рослинних добавок (ківі, топінамбур, цибуля-слизун), складання технологічних карток, визначення органолептичних показників розроблених хлібобулочних виробів.

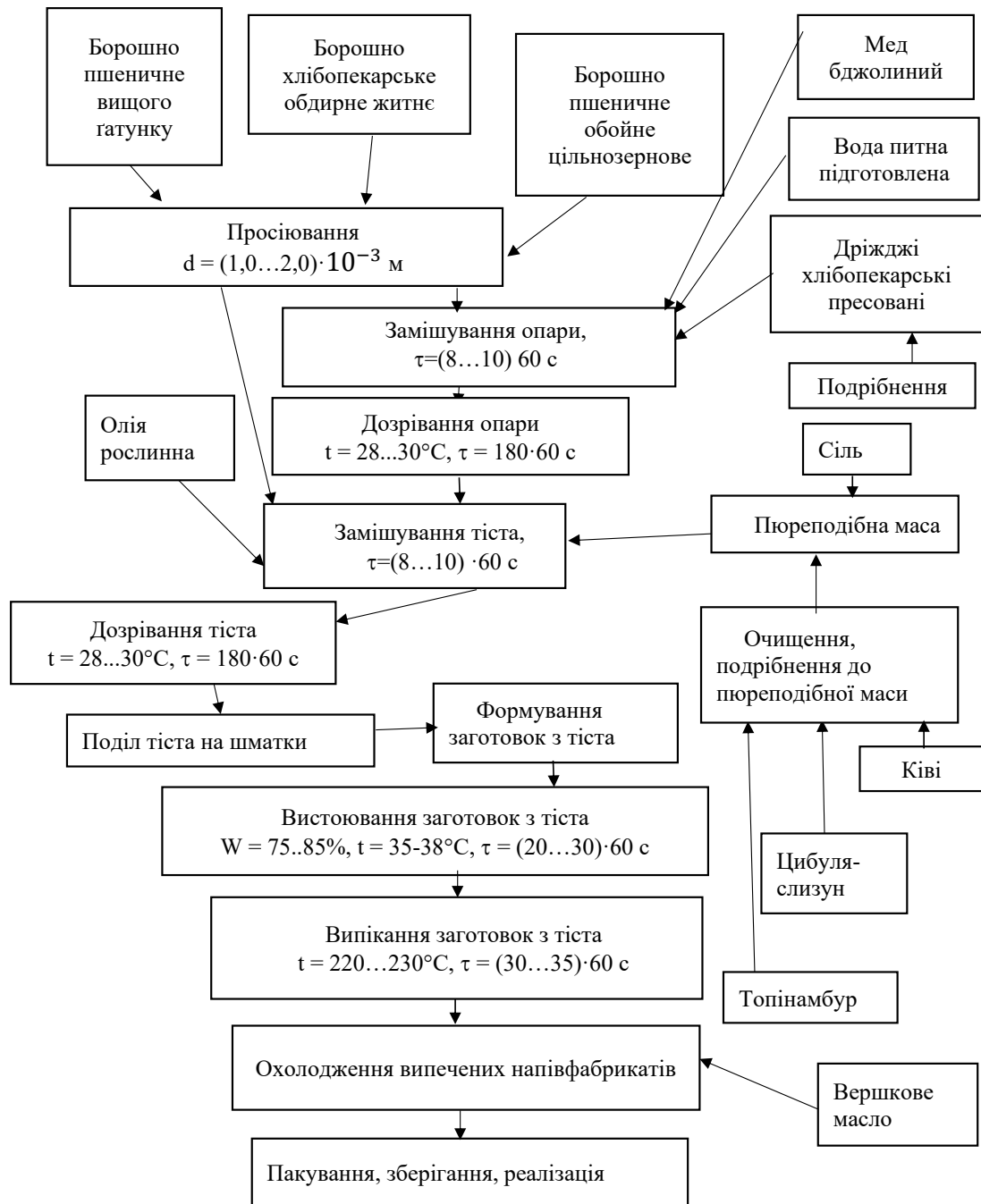
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проведені попередні експериментальні дослідження щодо вивчення впливу рослинних добавок (ківі, топінамбур, цибуля-слизун) на основні фізико-хімічні показники хлібу підтверджують, що якість зразків за розробленою технологією не погіршується [11]. Навпаки продукція збагачується мінеральними та пектиновими речовинами, вітамінами, харчовими кислотами, що дає змогу використовувати такий хліб як функціональний продукт харчування.

Наступним етапом наших досліджень була розробка технологічних схем і карт приготування хліба дріжджового «Смачний день» (рисунок 1, таблиця 1) і бездріжджового «Збалансований ранок» (рисунок 2, таблиця 2) з суміші різних видів борошна, добавками пюре із свіжого ківі, топінамбура, цибулі-слизуна і бджолиного меду.

Після випікання чотирьох видів хліба (контрольні зразки №1 і №2, зразок №3 — хліб дріжджовий «Смачний день», зразок №4 — хліб бездріжджовий «Збалансований ранок» нами було зроблено органолептичне оцінювання якості. Органолептичну оцінку якості хліба проводили за 5-бальною шкалою. Під час оцінки зовнішнього вигляду зразків звертали увагу на форму хлібобулочного виробу: симетричність і правильність. Колір скоринки — від золотистого до темно-коричневого, поверхня гладка без тріщини, підривів. Еластичність м'якушки оцінювали легким натискуванням двома пальцями на поверхню зрізу виробу, швидко відриваючи пальці від поверхні м'якушки. За відсутності деформації еластичності м'якушки оцінювали як відмінний показник. М'якушка у всіх зразках була добре пропеченою, вологою на дотик, без слідів непромісу. Визначаючи пористість м'якушки, звертали увагу на рівномірність і розподіл пор, величину і товщину стінок пор. Смак і запах визначали дегустацією. Розроблені зразки хлібу №3, №4 переважають відповідні контрольні зразки №1 і №2 за смаком і ароматом. Для розроблених двох видів хлібу з добавками пюре із свіжого ківі, топінамбура, цибулі-слизуна і бджолиного меду: колір — коричневий, характерний для суміші борошна; консистенція — м'яка; м'якоть м'якушки — коричневого кольору; добре пропечена, волога на дотик, без слідів непромішення; скоринка — золотиста, без підгорілістей, без підривів; смак і запах — відповідний, з легким присмаком і ароматом добавок та випеченого тіста; структура — на зломі пориста, вироби пропечені.

**Таблиця 1** — Рецепт хлібу дріжджового «Смачний день»

№ з/п	Найменування сировини	Витрати сировини на 1 шт.		Технологічні вимоги до якості сировини
		Маса брутто, г	Маса нетто, г	
1	Борошно пшеничне вищого ґатунку	205	200	ГСТУ 46.004-99
2	Борошно пшеничне обойне цільозернове	205	200	ГСТУ 46.004-99
3	Борошно хлібопекарське обдирне житнє	205	200	ДСТУ 8791:2018
4	Вода «Аква Сана»	300	300	ДСТУ 2874-82



**Рисунок 1** — Технологічна схема виробництва дріжджового хліба «Смачний день» з додаванням ківі, топінамбура, цибулі-слизуна у вигляді пюре, бджолиного меду

#### Продовження таблиці 1

№ з/п	Найменування сировини	Витрати сировини на 1 шт.		Технологічні вимоги до якості сировини
		Маса бруто, г	Маса нетто, г	
5	Дріжджі пресовані хлібопекарські класичні	30	30	ТУ У 10.8-00383320-001
6	Олія соняшникова рафінована, дезодорована виморожена	30	30	ДСТУ ISO 14024
7	Сіль кухонна кам'яна йодована	10	10	ДСТУ 3583:2015
8	Мед бджолиний	30	30	ГОСТ 19792-87

Продовження таблиці 1

№ з/п	Найменування сировини	Витрати сировини на 1 шт.		Технологічні вимоги до якості сировини
		Маса бруutto, г	Маса нетто, г	
9	Ківі	75	50	ДСТУ UNECE STANDARD FFV-46
10	Топінамбур	66	50	ДСТУ 8046:2015
11	Цибуля-слизун	7	5	ДСТУ 8687:2016
12	Вершкове масло	2	2	ДСТУ 4339:2005
	Вага напівфабрикату		1107	
	Вага готового виробу		750	

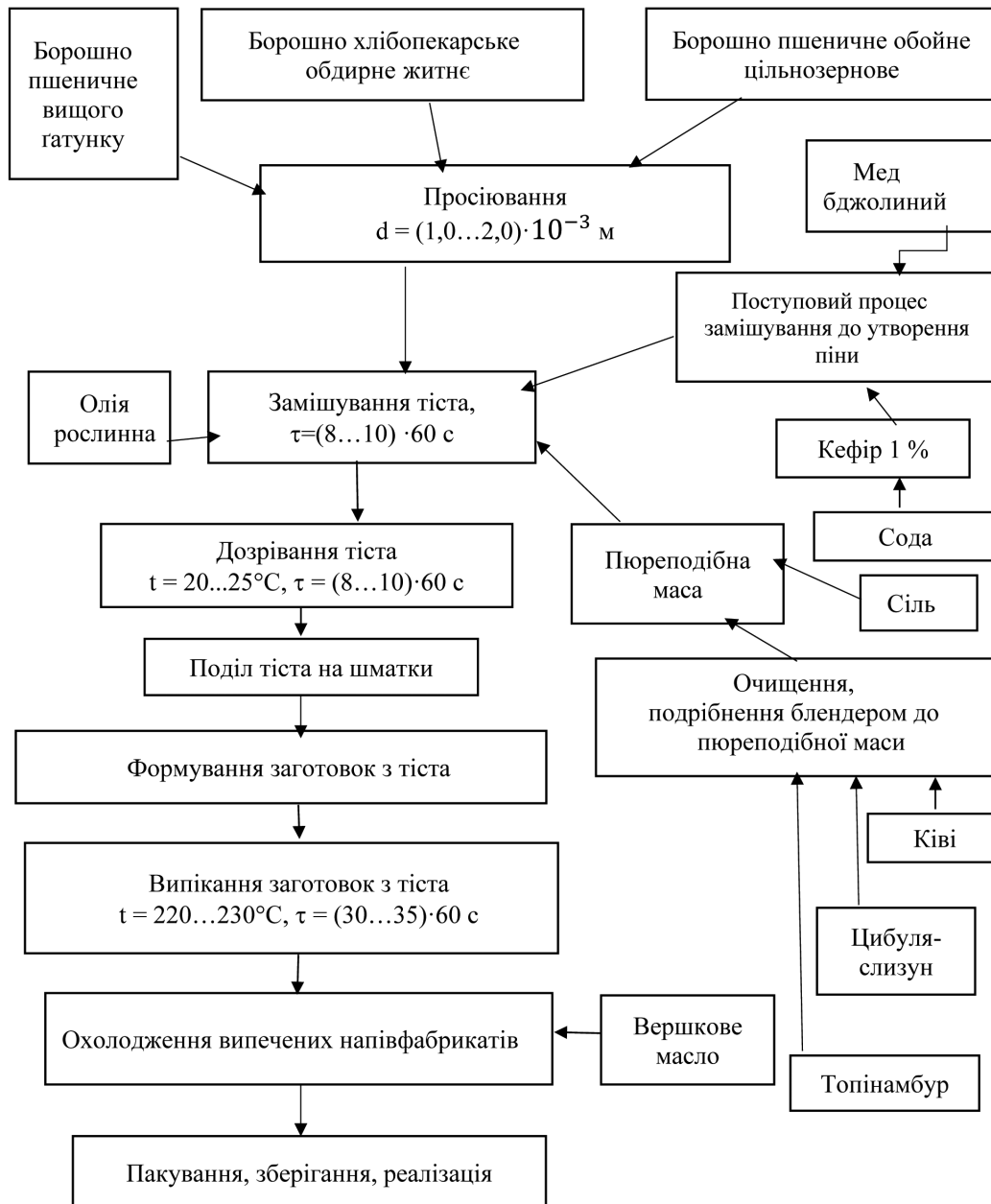


Рисунок 2 — Технологічна схема виробництва хліба бездріжджового «Збалансований ранок» з додаванням ківі, топінамбура, цибулі-слизуна у вигляді пюре, бджолиного меду



Таблиця 2 — Рецептúra хлібу бездріжджового «Збалансований ранок»

№ з/п	Найменування сировини	Витрати сировини на 1 хлібину		Технологічні вимоги до якості сировини
		Маса брутто, г	Маса нетто, г	
1	Борошно пшеничне вищого ґатунку	205	200	ГСТУ 46.004-99
2	Борошно пшеничне обойне цільнозернове	205	200	ГСТУ 46.004-99
3	Борошно хлібопекарське обдирне житнє	205	200	ДСТУ 8791:2018
4	Кефір 1 %	400	400	ДСТУ 4417:2005
5	Сода	5	5	ДСТУ 2156-76
6	Олія соняшникова рафінована, дезодорована виморожена	30	30	ДСТУ ISO 14024
7	Сіль кухонна кам'яна йодована	10	10	ДСТУ 3583:2015
8	Мед бджолиний	30	30	ГОСТ 19792-87
9	Ківі	75	50	ДСТУ UNECE STANDARD FFV-46
10	Топінамбур	66	50	ДСТУ 8046:2015
11	Цибуля-слизун	7	5	ДСТУ 8687:2016
12	Вершкове масло	2	2	ДСТУ 4339:2005
	Вага напівфабрикату		1182	
	Вага готового виробу		750	

**Висновки.** Розроблено технологію виготовлення хлібобулочних виробів: хліб дріжджовий «Смачний день» і хліб бездріжджовий «Збалансований ранок» з додаванням ківі, топінамбура, цибулі-слизуна у вигляді пюре, бджолиного меду.

Дегустаційною комісією ТОВ «Криворіжхліб» обговорена та ухвалена технологія виробництва хліба дріжджового «Смачний день» і бездріжджового «Збалансований ранок». Технологія виробництва хліба пройшла промислову апробацію в ТОВ «Криворіжхліб».

Виробнича оцінка виробів дозволила рекомендувати їх для використання як функціональні продукти, які зможуть зміцнити імунітет людини, сприятимуть підвищенню вмісту незасвоєваних вуглеводів, клітковини, харчових волокон, вітамінів, мікро- і макроелементів; уповільненню утворення ракових клітин; зниженню рівню холестерину в організмі, поліпшенню обміну речовин; стабілізації рівню цукру в крові. Розроблені вироби рекомендовано людям з серцево-судинними, шлунково-кишковими захворюваннями.

#### Список літератури

1. Кучерук З. І., Цуканова О. С. Використання полісахаридів рослинного і мікробного походження в технології безбілкового хліба: монографія. Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2014. 131 с.
2. Дзюндзя О. В., Звагольська К. М. Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2021. Вип. 1. С. 22–29.
3. Євчук Я. В. Застосування нетрадиційної сировини в технології хліба. *Наукові горизонти*. 2017 № 1 (1). С. 211–221.
4. Євчук Я. В., Любич В. В. Удосконалення технології хліба пшеничного, збагаченого нетрадиційними рослинними інгредієнтами. *Наукові горизонти*. 2019 № 5 (78). С. 58–67.

5. Сиза О. І., Савченко О. М., Журок І. М., Дорожинська М. В. Порошок з вичавків ягід калини в технології виробництва пшеничного хліба. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4 (10). С. 176–188.
6. Савченко О. М., Калініченко Ю. В. Технологія виготовлення житньо-пшеничного хліба на заквасках із використанням базилику. *Технічні науки та технології*. 2019. № 4 (18). С. 183–191.
7. Савченко О. М., Лемеш М. В., Гунько, Д. В., Сиза О. І., Челябієва В. М. Технологія виготовлення житньо-пшеничного хліба на заквасках із використанням перцю болгарського сухого. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4 (14). С. 230–237.
8. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна з заданими властивостями: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ. 2018. 146 с.
9. Горяйнова Ю. А., Сімакова О. О., Кучма А. Ю., Мороз В. О. Технологія виробів із пшеничного борошна лікувально-профілактичного призначення із використанням шовковиці. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. Вип. 2 (41). С. 12–18.
10. 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.
11. Горяйнова Ю. А., Сімакова О. О., Єріс Ю. В., Гусак Є. Р., Домашук А.Є. Дослідження впливу рослинних добавок на якість хлібобулочних виробів. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2022. Вип. 1 (44). С. 21–29.

#### References

1. Kucheruk, Z. I., Tsukanova, O. S. (2014). *Vykorystannia polisakharydiv roslynnoho i mikrobnoho pokhodzhennia v tekhnologii bezbilkovoho khliba* [The use of polysaccharides of vegetable and microbial origin in the technology of protein-free bread. Kharkiv, Kharkiv State University of Food and Trade. 131 p.
2. Dzyundzya O. V., Zvaholska K. M. (2021). *Analiz netradytsiinoi boroshnianoï syrovyny dlia vyrobnytstva khlibobulochnykh vyrobiv* [Analysis of non-traditional flour raw materials for the production of bakery products]. *Tekhnichni nauky* [Technical sciences], issue 1, pp. 22–29.
3. Yevchuk, Ya.V. (2017). *Zastosuvannia netradytsiinoi syrovyny v tekhnologii khliba* [Use of non-traditional raw materials in bread technology]. *Naukovi horyzonty* [Scientific horizons], issue 1 (1), pp. 211–221.
4. Yevchuk, Ya.V., Lyubich, V.V. (2019). *Udoskonalennia tekhnologii khliba pshenychnoho, zbahachenoho netradytsiinymy roslynnyimy inhrediiientamy* [Improvement of wheat bread Technology enriched with nonconventional plant ingredients]. *Naukovi horyzonty* [Scientific horizons], issue 5 (78), pp. 58–67.
5. Sizaya, O. I., Savchenko, O.M., Zhurok, I. M., Dorozhynska, M. V. (2017). *Poroshok z vychavkiv yahid kalyny v tekhnologii vyrobnytstva pshenychnoho khliba* [Powder from the schrot of berries of kalina in the technology of production of wheat bread]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii* [Technical sciences and technologies], issue 4 (10), pp. 176–188.
6. Savchenko, O.M., Kalinichenko, Yu.V. (2019). *Tekhnologiiia vyhotovlennia zhytno-pshenychnoho khliba na zakvaskakh iz vykorystanniam bazyliku* [Technology of manufacturing rye and wheat sourdough bread with the use of basil]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii* [Technical sciences and technologies], issue 4 (18), pp. 183–191.
7. Savchenko, O. M., Lemesh, M. V., Gunko, D. V., Syza, O. I., Cheliabieva, V. M. (2018). *Tekhnologiiia vyhotovlennia zhytno-pshenychnoho khliba na zakvaskakh iz vykorystanniam pertsiiu bolharskoho sukhooho* [Manufacturing technology of rye and wheat bread on the basis of sourdough and dry sweet pepper]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii* [Technical sciences and technologies], issue 4 (14), pp. 230–237.
8. Simakova, O.O., Nykyforov, R.P. (2018). *Rozrobka novitnikh tekhnologii vyrobiv z boroshna s zadanymy vlastyvostiamy* [Development of the newest technologies of products from flour with the set properties]. Kryvyi Rih, DonNUET Publ., 146 p.

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

10. 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.

11. Goryaynova, Yu. A., Simakova, O. O., Yeris, Yu. V., Husak, Y. R., Domashuk, A. Ye. (2022). *Doslidzhennia vplyvu roslynnykh dobavok na yakist khlibobulochnykh vyrobiv* [Study of the influence of plant additives on the quality of bakery products]. *Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv* [Equipment and technology of food production], issue 1 (44), pp. 21–29.

**Objective.** *Development of the recipe and technology of two types of functional bread with the use of vegetable additives (kiwi, Jerusalem artichoke, onion), compilation of technological cards, determination of organoleptic indicators of the developed bakery products.*

**Methods.** *The experimental part of the work was carried out in the laboratory of the department of technologies in the catering economy, hotel and restaurant business and entrepreneurship of Don-NUET, in the production laboratory of LLC «Kryvorizkhlіb» and the laboratory of the Center for Training and Retraining of Workers №. 1, Kryvyi Rih. To carry out the research, we used wheat flour of the highest grade, wheat wallpaper whole grain, baker's husked rye in a ratio of 1:1:1. To enrich the dough with nutrients, kiwi, Jerusalem artichoke, onion and bee honey were used. To develop the recipe and determine the optimal amount of plant additives in the investigated bakery products, laboratory test baking was carried out. The optimal amount of plant additives in the recipe of two types of bread was determined as a result of the organoleptic and physicochemical indicators of the experimental products. The following research methods were used in the work: analysis of scientific literature and periodicals, Internet sources; laboratory experiment; analysis, synthesis and generalization of laboratory research results.*

**Results.** *As a result of the conducted research, the technologies of two types of functional bread with additives of kiwi, Jerusalem artichoke, and spring onions (with and without yeast) were developed. Technological schemes for the production of yeast bread “Delicious Day” and yeast-free “Balanced Morning” were drawn up, technological cards of developed bread samples. Their organoleptic evaluation was carried out. In the course of the experiment, optimal dosages of functional ingredients to the mass of flour were selected, which enrich the bread without impairing its consumer properties. The tasting commission approved the technology for the production of bakery products from a mixture of high-grade wheat flour, whole-grain wheat flour and dehulled rye flour in a ratio of 1:1:1 with the addition of fresh kiwi puree, Jerusalem artichoke, scallions and bee honey. The technology of bread production has passed industrial approval at LLC «Kryvorizkhlіb».*

**Key words:** *functional products, bread, bakery products, kiwi, Jerusalem artichoke, onion-sli-zun, bee honey, organoleptic indicators, technological schemes.*

# ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-22-29

УДК 664.644.5:664.64.016

*Сімакова О. О., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*  
*Горайнова Ю. А., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*  
*Никифоров Р. П., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*  
*Боднарук О. А., асистент<sup>1</sup>*  
*Гайдаєнко О. В., здобувач ОС бакалавра<sup>1</sup>*

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

## ВПЛИВ ДОБАВОК АМАРАНТУ БАГРЯНОГО НА ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ЯКОСТІ ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА

UDC 664.644.5:664.64.016

*Simakova O. O., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>1</sup>*  
*Goriainova Yu. A., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>1</sup>*  
*Nykyforov R. P., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>1</sup>*  
*Bodnaruk O. A., Assistant Professor<sup>1</sup>*  
*Gaydaenko O. V., A graduate of a bachelor's degree<sup>1</sup>*

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

## EFFECT OF PURPLE AMARANTH ADDITIVES ON THE BAKING QUALITIES OF WHEAT FLOUR

**Мета** — дослідження впливу добавок амаранту багряного на хлібопекарські якості пшеничного борошна.

**Методи.** Амілолітичну активність ферментних препаратів досліджували з використанням модельного субстрату (2 % розчину крохмалю, частково декстринізованого) за кількістю мальтози, що утворюється (продукту глибокого гідролізу крохмалю). Використовувалося борошно з сухого листя амаранту багряного, його 5% водна витяжка, амарантовий солод і ячмінний солод як препарат порівняння. На початку визначали роздільну активність  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілаз, присутніх в ферментній сировині. Використовували метод диференційованого визначення амілаз інактивацією однієї з них. При нагріванні ферментної суміші протягом 15 хвилин при  $t = 70$  °C  $\alpha$ -амілаза майже повністю зберігається. Щоб стабілізувати  $\alpha$ -амілазу при такому способі інактивування  $\beta$ -амілази, рекомендується додавати невелику кількість ацетату кальцію. Певна таким чином кількість редуруючих цукрів характеризує активність  $\alpha$ -амілази, активність  $\beta$ -амілази визначають як різницю між сумарною активністю і активністю  $\alpha$ -амілази.

Запропонований метод визначення протеолітичної активності ферментних препаратів або ферментної сировини, заснований на зміні в'язкості розчинів желатину в результаті впливу. За допомогою цього методу була визначена відносна протеолітична активність борошна з сухого листя амаранту багряного, амарантового солоду і ячмінного солоду як препарату порівняння, виражена за допомогою відносної в'язкості ( $\eta_{\text{відн.}}$ ) випробовуваних розчинів желатину.

Розтяжність сирої клейковини визначали за методом Козьміної-Кранц.

Надійшла до редакції 28.10.2022 р. © О. О. Сімакова, Ю. А. Горайнова, Р. П. Никифоров, О. А. Боднарук, О. В. Гайдаєнко, 2022



**Результати.** Експериментально встановлено, що добавки амаранту багряного (ДАБ) покращують хлібопекарські якості пшеничного борошна вищого сорту. Встановлено високу амілолітичну активність борошна з ДАБ: мальтозне число 5 % водної витяжки (водопровідна вода) з сухого листя —  $9,42 \pm 0,34$  %, з амарантового солоду —  $10,53 \pm 0,38$  %. Відбувається підвищення цукроутворюючої і, як наслідок, газоутворюючої здатності пшеничного борошна. ДАБ виявляють значну протеолітичну активність: борошно з сухого листя АБ — ( $\eta_{\text{відн}} = 1,09$ ), з амарантового солоду — ( $\eta_{\text{відн}} = 1,13$ ), порівнянню з активністю ячмінного солоду. Застосування ферментного препарату прискорює процес гідратації клейковини білків пшеничного борошна (не потрібно годинного відлежування тіста), також поліпшується еластичність клейковини. Таким чином, обґрунтовано доцільність використання ДАБ в технології виробів з дріжджового тіста.

**Ключові слова:** амарант багряний, пшеничне борошно, ферментна активність, ферментні препарати, хлібопекарські якості.

**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 багряний (АБ) [2].

У попередніх дослідженнях було експериментально встановлено, що добавки амаранту багряного (ДАБ) володіють гарною ферментною активністю, що підтверджується високою активністю амілазного комплексу: мальтозне число 5 % водної витяжки з сухого листя АБ —  $12,31 \pm 0,36$  %, з додаванням  $\text{CaCl}_2$  ( $\text{Ca}^{2+} = 0,01$  г/л) —  $16,0 \pm 0,35$  % [4]. Отримані результати свідчать про перспективність використання ДАБ для поліпшення хлібопекарських якостей пшеничного борошна.

Була 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 [5].

Досліджено вплив різних концентрацій ДАБ на вміст основних біологічно активних речовин у пшеничному борошні, розпливання клейковини, показники білизни і відтінку кольору пшеничного борошна [5].

Попередньо отримані експериментальні дані дозволяють провести дослідження впливу ДАБ на амілолітичну і протеолітичну активність пшеничного борошна, а також стан його білкового комплексу.

**Мета статті** — дослідження впливу добавок амаранту багряного на хлібопекарські якості пшеничного борошна.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Попередні експериментальні дані дозволили провести дослідження амілолітичної активності борошна з сухого листя АБ на пшеничному борошні. Дані щодо амілолітичної активності пшеничного борошна з ДАБ і його водної витяжки наведені в табл. 1.



Таблиця 1 — Вплив ДАБ на амілолітичну активність пшеничного борошна

№	Ферментний препарат	Мальтозне число, % мальтози
1	Сухий ячмінний солод (борошно)	9,81±0,35
2	Сухе листя АБ (борошно)	7,82±0,32
3	5 % водна витяжка з сухого листя АБ (дистильована вода)	8,31±0,33
4	5 % водна витяжка з сухого листя АБ (водопровідна вода)	9,42±0,34
5	Без препарату (контроль)	3,93±0,28

Отримані на модельних системах крохмалю закономірності при цьому повністю зберігаються.

Дані, наведені в табл. 1 показують, що цукроутворююча здатність борошна різко підвищується з додавкою невеликої кількості борошна з сухого листя АБ. При проведенні реакції з використанням не дистильованої води, а водопровідної, активність амілаз ще більше підвищується. Жорсткість водопровідної води обумовлена головним чином вмістом у ній іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , що перетворює її в електроліт і підвищує реакційну здатність. Ці дані представляються досить обнадійливими і дозволяють розглядати борошно з сухого листя АБ в якості повноцінного препарату активних амілаз, зокрема  $\beta$ -амілази.

Враховуючи високу амілолітичну активність борошна з сухого листя АБ, були зроблені кроки (за аналогією з ячмінним солодом) по вивченню амілолітичної активності амарантового солоду, отриманого в результаті дводобового пророщування і обережного висушування насіння АБ. Дослідження були проведені з використанням різних субстратів: пшеничного борошна вищого гатунку, сухого картопляного крохмалю і 2 % частково декстринізованого розчину крохмалю. Про активність ферментного препарату судили також за кількістю, що утворюється в реакційній суміші мальтози. В якості ферментних препаратів використовували борошно, яке отримане в результаті помелу амарантового солоду і його 5 % водну (або сольову) витяжку.

Результати досліджень впливу амарантового солоду на амілолітичну активність пшеничного борошна наведені в табл. 2. Відомо [6], що дія амілаз на незмінні або навіть частково пошкоджені крохмальні зерна є досить слабкою у порівнянні з дією на оклейстеризований крохмаль. Це добре видно з порівняння даних, наведених в табл. 2. Проте активність амарантового солоду може бути підвищена з використанням невеликих добавок іонів  $\text{Ca}^{2+}$ , як це було описано вище для випадку з листям амаранту.

Отримані результати дають підстави провести дослідження амілолітичної активності амарантового солоду на пшеничному борошні, дані яких наведені в цій же таблиці. Відображені вище закономірності повністю при цьому зберігаються.

Дані табл. 2 свідчать про те, що амілазний комплекс амарантового солоду трохи менш активний в порівнянні з ячмінним солодом як в сухому вигляді, так і у вигляді витяжки. Проведений досвід з оцінки амілазної активності непророслого насіння амаранту підтверджує відомий факт про збільшення ферментної активності в пророщеному зерні [6]. Але невелика добавка розчину хлориду кальцію з концентрацією іонів  $\text{Ca}^{2+}=0,5$  г/л збільшує амілазну активність препарату і виводить його на один рівень з ячмінним солодом. Подібна картина зберігається і при приготуванні витяжки ферменту не на дистильованій воді, а на розчині хлориду кальцію з концентрацією іонів  $\text{Ca}^{2+}=0,01$  г/л. При цьому в розчині, що осцукровується, концентрація іонів кальцію становить на порядок меншу величину, ніж в попередньому випадку, а цукроутворююча активність препарату навіть дещо підвищується. Пояснення цьому слід шукати, швидше за все, в способі приготування ферментної витяжки. При використанні розчину електроліту відбувається більш повне вилучення ферменту з сировини, як це характерно для багатьох білків, і збільшення його

Таблиця 2 — Вплив амарантового солоду на амілолітичну активність пшеничного борошна

№	Субстрат	Ферментний препарат	Концентрація Ca <sup>2+</sup> , г/л	Мальтозне число, % мальтози
1	2 % розчин крохмалю	5 % водна витяжка ячмінного солоду	–	17,21±0,36
2	–//–	5 % водна витяжка амарантового солоду	–	13,51±0,29
3	–//–	5 % водна витяжка з амарантового солоду на розчині хлориду кальція (Ca <sup>2+</sup> =0,5 г/л)	0,05	17,12±0,38
4	–//–	5 % водна витяжка з амарантового солоду на розчині хлориду кальція (Ca <sup>2+</sup> =0,01 г/л)	0,0025	17,22±0,36
5	Зерна крохмалю	сухий амарантовий солод (борошно)	–	3,24±0,18
6	–//–	5 % водна витяжка з амарантового солоду без препарату	–	4,98±0,36
7	Пшеничне борошно	без препарату	–	3,94±0,37
8	–//–	сухий ячмінний солод (борошно)	–	9,81±0,35
9	–//–	сухий амарантовий солод (борошно)	–	9,03±0,34
10	–//–	5 % водна витяжка з амарантового солоду (дистильована вода)	–	9,52±0,21
11	–//–	5 % водна витяжка з амарантового солоду (водопровідна вода)	–	10,53±0,38

концентрації в розчині, що оцукровується [7]. Як впливає з даних табл. 2, цукроутворююча здатність борошна різко збільшується з добавкою сухого амарантового солоду. При проведенні реакції з використанням не дистильованої, а водопровідної води активність амілаз ще більше зростає, що не є несподіваним у світлі вищенаведених експериментів.

Всі відображені вище результати з повною достовірністю свідчать про досить високу амілолітичну активність ДАБ, завдяки чому вони підвищують цукроутворюючу здатність пшеничного борошна, і тим самим, її газоутворюючу здатність.

Проте для отримання високоякісної продукції напівфабрикат повинен володіти також хорошою здатністю затримувати вуглекислий газ, що виділяється при бродінні, розтягуючись під його тиском і збільшуючись в обсязі. Численні літературні дані [4–8] показують, що максимальну газоутримуючу здатність має зовсім не найміцніше по консистенції тісто. Якщо клейковинна основа тіста занадто пружна, то тісто не буде розтягуватися під тиском. У якийсь момент тиск всередині бульбашок газу в тісті досягне такої величини, що оболонка бульбашки буде прорвана і газ випарується в навколишнє середовище. Для підвищення газоутримуючої здатності такого напівфабрикату необхідно послабити структуру тіста, зробити клейковинну основу більш розтяжною.

Саме в цьому відношенні дуже ефективним буде підвищення протеолітичної активності борошна, що дозволяє дещо послабити тісто, підвищити його еластичність. Але, крім впливу на реологічні властивості тіста добавки, що підвищують протеолітичну активність борошна, будуть сприяти накопиченню в тісті вільних амінокислот і тим самим

створювати умови для більш інтенсивного процесу меланоїдиноутворення. Тому при використанні ДАБ, що показали високу амілолітичну активність, необхідно врахувати і протеолітичну здатність. Проте при цьому слід зазначити, що наявні методи визначення протеолітичної активності ферментів (врахування гемоглобіну [9], гідроліз сухого казеїну [10]) не є експресними.

Запропонований метод визначення протеолітичної активності ферментних препаратів або ферментної сировини, заснований на зміні в'язкості розчинів желатину в результаті впливу. Цей метод швидкий, препаративний, не вимагає громіздкого обладнання і може служити експресним для встановлення активності того чи іншого протеолітичного препарату. Метод має один недолік — не дає прямих даних про кількісну активність препарату. Метод придатний лише для порівняння активності досліджуваних препаратів з відомим, обраним заздалегідь стандартом. Однак для вирішення поставлених в дослідженні завдань видається цілком придатним. За допомогою цього методу була визначена відносна протеолітична активність борошна з сухого листа амаранту багряного, амарантового солоду і ячмінного солоду як препарату порівняння, виражена за допомогою відносною в'язкості ( $\eta_{\text{відн.}}$ ) випробовуваних розчинів желатину. Дані експерименту наведені в табл. 3.

**Таблиця 3** — Визначення протеолітичної активності ферментних препаратів

№	Ферментний препарат	Відносна в'язкість, ( $\eta_{\text{відн.}}$ )
1	Контроль	1,54
2	Ячмінний солод (борошно)	1,07
3	Амарантовий солод (борошно)	1,13
4	Сухе листя АБ (борошно)	1,09

Судячи з отриманих даних (табл. 3), ДАБ виявляють значну протеолітичну активність, розщеплюючи пептидні зв'язки желатину. Більш високу активність, порівнянну з активністю ячмінного солоду, проявляє борошно з сухого листа амаранту, амарантовий ж солод трохи менш активний, хоча і не набагато. Таким чином, виявлена протеолітична активність ДАБ повинна вплинути на якість клейковини пшеничного борошна і, в результаті, на хлібопекарські властивості останнього.

З метою встановлення закономірностей впливу протеолітичних ферментів добавок на хлібопекарські властивості пшеничного борошна були проведені експерименти по визначенню виходу сирі та сухої клейковини при замішуванні тіста з пшеничного борошна вищого сорту з додаванням 1 % ДАБ відразу ж після замісу і після годинного відлежування. Дані експериментів наведені в табл. 4. Додатково була визначена розтяжність сирі клейковини за методом Козьміної-Кранц [4], яка характеризує її якість і від якої сильно залежить структура м'якушки.

**Таблиця 4** — Вплив ДАБ на якість клейковини пшеничного борошна

№	Ферментний препарат	Виход сирі клейковини, %		Виход сухої клейковини, %		Ростяжність, см	
		відразу	через 1 годину	відразу	через 1 годину	відразу	через 1 годину
1	Контроль	32,3±1,9	36,5±2,1	14,0±0,8	13,2±0,8	3,5 ±0,2	5,0±0,2
2	Ячмінний солод (борошно)	40,4±2,5	40,2±2,3	14,0±0,9	12,9±0,7	5,3±0,2	4,4±0,2
3	Сухе листя АБ (борошно)	35,9±2,3	39,9±2,2	14,0±0,6	12,7±0,6	5,6±0,2	5,6±0,2
4	Амарантовий солод (борошно)	40,2±2,4	40,2±2,4	14,0±0,7	12,8±0,6	5,7±0,2	5,2±0,2

Встановлений (табл. 4) позитивний вплив протеолітичних ферментів добавок на хлібопекарські властивості пшеничного борошна показує значне підвищення виходу сирої клейковини. Це представляється логічним, оскільки ферментні препарати стимулюють гідратацію білків клейковини. Більш того, при застосуванні ферментного препарату прискорюється сам процес гідратації — не потрібне годинне відлежування тіста. Також поліпшується еластичність клейковини. А дані по виходу сухої клейковини повністю збігаються з даними по визначенню протеолітичної активності препаратів. Якщо відразу ж після замісу вихід сухої клейковини однаковий для всіх чотирьох дослідів, то після відлежування, коли над білками клейковини «попрацювали» протеолітичні ферменти, найнижчий вихід сухої клейковини спостерігається в разі застосування в якості добавки борошна з сухого листа амаранту. Це говорить про найвищу активність її ферментів.

**Висновки.** Експериментально встановлено, що ДАБ покращують хлібопекарські якості пшеничного борошна вищого сорту. Встановлено високу амілолітичну активність борошна з ДАБ: мальтозне число 5 % водної витяжки (водопровідна вода) з сухого листа —  $9,42 \pm 0,34$  %, з амарантового солоду —  $10,53 \pm 0,38$  %. Відбувається підвищення цукроутворюючої і, як наслідок, газоутворюючої здатності пшеничного борошна. ДАБ виявляють значну протеолітичну активність: борошно з сухого листа АБ — ( $\eta_{\text{відн.}} = 1,09$ ), з амарантового солоду — ( $\eta_{\text{відн.}} = 1,13$ ), порівнянну з активністю ячмінного солоду. Застосування ферментного препарату прискорює процес гідратації клейковини білків пшеничного борошна (не потрібно годинного відлежування тіста), також поліпшується еластичність клейковини. Таким чином, обґрунтовано доцільність використання ДАБ в технології виробів з дріжджового тіста.

#### 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, №11 (92). P. 57–64. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127173.
5. Сімакова О. О., Горайнова Ю. А., Пусікова О. А., Василевська А. О. Дослідження можливості використання добавок амаранту багряного в технології хлібобулочних виробів. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2022. Вип. 1 (44) С. 14–20. doi : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-14-20.
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 цельнозлакового 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 naselennyam Ukrainy* [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 vyrobnystv* [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. Simakova, O. O., Horiainova, Yu. A., Pusikova, O. A., Vasylevska, A. O. (2022). *Doslidzhennia mozhyvosti vykorystannia dobavok amarantu bahrianoho v tekhnolohii khlibobulochnykh vyrobiv* [Investigation of the possibility of using amaranth supplements in the technology of bakery products]. *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnystv* [Food production equipment and technologies], No. 1 (44), pp. 14–20. doi: 10.33274/2079-4827-2022-44-1-14-20.
6. Pavliuk, R. Yu. & etc. (2010). *Aktyvatsiya roslynnykh biolohichno aktyvnykh rehovyn fizychnymy metodamy* [Activation of plant biologically active substances by physical methods]. Kharkiv, 157 p.
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 funktsionalnykh ozdorovitelnykh produktov* [New technologies of functional health products]. Kharkiv, 262 p.
10. Syrokhman, I. V., Lozova T. M. (2008). *Naukovi spriamuvannia u polipshenni spozhyvnykh 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** is to study of the effect of purple amaranth additives on the baking qualities of wheat flour.

**Methods.** The amylolytic activity of enzyme preparations was studied using a model substrate (2% starch solution, partially dextrinized) by the amount of maltose formed (a product of deep starch hydrolysis). Flour made from dried leaves of purple amaranth, its 5% water extract, amaranth malt and barley malt were used as a comparison preparation. At the beginning, the separation activity of  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylases present in fermenters of raw materials was determined. The method of differentiated determination of amylases by inactivation of one of them was used. When the enzyme mixture is heated for 15 minutes at  $t=70$  °C,  $\alpha$ -amylase is almost completely preserved. To stabilize  $\alpha$ -amylase with this



method of inactivating  $\beta$ -amylase, it is recommended to add a small amount of calcium acetate. The amount of reducing sugars determined in this way characterizes the activity of  $\alpha$ -amylase, the activity of  $\beta$ -amylase is defined as the difference between the total activity and the activity of  $\alpha$ -amylase.

A method for determining the proteolytic activity of enzyme preparations or enzyme raw materials based on changes in the viscosity of gelatin solutions as a result of exposure is proposed. Using this method, the relative proteolytic activity of flour from dried leaves of purple amaranth, amaranth malt and barley malt was determined as a comparison preparation, expressed by relative viscosity ( $\eta_{rel.}$ ) of the tested gelatin solutions.

The stretchability of crude gluten was determined by the Kozmina-Kranz method.

**Results.** It has been experimentally established that additives of purple amaranth (PAS) improve the baking qualities of wheat flour of the highest grade. High amylolytic activity of PAS flour was established: maltose number of 5 % water extract (tap water) from dried leaves —  $9.42 \pm 0.34$  %, from Amaranth malt —  $10.53 \pm 0.38$  %. There is an increase in the sugar-forming and, as a result, gas-forming ability of wheat flour. Dabs show significant proteolytic activity: flour from dried leaves AB — ( $\eta_{rel.} = 1.09$ ), from Amaranth malt — ( $\eta_{rel.} = 1.13$ ), comparable to the activity of barley malt. The use of an enzyme preparation accelerates the process of gluten hydration of wheat flour proteins (no need for an hour of lying down of the dough), and the elasticity of gluten also improves. Thus, the expediency of using PAS in the technology of yeast dough products is justified.

**Key words:** purple amaranth, wheat flour, enzyme activity, enzyme preparations, baking qualities.

*Slashcheva A. V., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>1</sup>*

*Zolotukhina I. V., Grand PhD of Engineering Science,  
Associate Professor<sup>2</sup>*

*Kocherga I. A., a graduate of a bachelor's degree<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

## STUDY OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR FROZEN DESSERT PRODUCTS

УДК 641.12:635.24

*Слащева А. В., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*

*Золотухіна І. В., д-р техн. наук, доцент<sup>2</sup>*

*Кочерга І. А., здобувач ОС бакалавра<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup> Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна, e-mail: oborud.hduht@gmail.com.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ЗАМОРОЖЕНОЇ ДЕСЕРТНОЇ ПРОДУКЦІЇ

*Objective is to study functional and technological indicators of semi-finished products for frozen dessert products.*

*Methods.* The following main materials were used within the specified object: whey according to DSTU 7515:2014, dry milk according to DSTU 4273:2003, stabilization system for the production of ice cream Cremodan SI 320, containing alginate, locust bean gum, guaran, carrageenan, according to certificate of the manufacturer («Danisco A/S», Denmark); lactulose (crystalline lactulose «Lactulose» manufacturing company «ServaFeinbio Chemica», Germany) and fructose, which were purchased from «Altex» LLC, Dnipro. Research of organoleptic, physico-chemical and microbiological characteristics of model systems, semi-finished products and culinary products was carried out by modern methods according to standard methods, using appropriate devices. The selection of samples and their preparation for research was carried out according to standard methods. Determination of the heat resistance of the mixtures was carried out according to the method developed by V. M. Polishchuk.

*Results.* It has been proven that the rational formulation of the mixture from the point of view of the properties of the obtained semi-finished product should be considered formulations based on serum with the content of lactulose 1%, fructose 11%, stabilizer 0.4%, dry milk 8%. The optimal pasteurization process for the semi-finished product was determined — at a temperature of 80...82°C for (5.8...6.2)×60<sup>-1</sup>s. The whipping ability was 70±1.8%, the ability to form stable foams was 80±2.0%. A technological scheme for obtaining a semi-finished product for frozen desserts based on whey with lactulose, fructose, stabilizer was developed. A set of data characterizing the quality of the developed semi-finished product was obtained, and its high nutritional and biological value was proven. Modes and terms of storage of semi-finished products are substantiated: temperature -4...6 °C, no more than 3 months, in unsealed form — no more than 48 hours.

*Key words:* semi-finished product, frozen desserts, prebiotic, fructose, lactulose, cheese whey.

**Formulation of the problem.** Production of ice cream and frozen desserts is one of the most promising segments of the dairy industry. Ice cream is an affordable complete food product with high digestibility and a valuable source of important functional nutrients. The technologies of fro-

zen dessert products allow adding additives that play the role of functional and technological components to their composition. This makes it possible to expand the range of targeted products for various types of food, taking into account age, individual needs, national and social requests [1].

The analysis of modern nutrition shows its inconsistency with the requirements of nutrition due to insufficient consumption of proteins, minerals, vitamins and an overload of saturated fats and easily digestible carbohydrates. The modern diet needs to improve the recipes of frozen products according to priority directions: increasing the content of functional ingredients (sulfur-containing amino acids, dietary fibers) against the background of reducing the content of fatty components and reducing the sugar content. The modern approach to the creation of food products is definitely related to the use of the concept of glycemic indices and glycemic load [2].

It is the presence of simple sugars in ice cream that determines its high glycemic index, which forces consumers to significantly limit its consumption, and patients with diabetes, cardiovascular diseases or obesity to exclude ice cream from their diets altogether. Solving this problem is possible in two ways: making unsweetened ice cream or using sweeteners or fructose instead of sugar [3]. By the way, unsweetened ice cream is extremely popular in European countries and in Japan, where they make ice cream with the flavors of meat, seafood (shrimp, octopus, cuttlefish), seaweed, beer, as well as vegetable ice cream — tomato, pumpkin, carrot, garlic, onion, cucumber with spicy herbs, beet, potato, etc. However, such ice cream is not popular in Ukraine and is not produced by any manufacturer. Ukrainians perceive ice cream exclusively as a dessert. Therefore, today the problem of lowering the glycemic index of ice cream can only be solved by using sweeteners or fructose [4]. Thus, the scientific and practical task of creating a new generation of frozen desserts with reduced glycemic load, enriched with functional ingredients, is relevant and timely.

**Analysis of recent research and publications.** Today, the food industry is rapidly developing new product platforms and bringing new product categories to the market. The main goal of this activity is the economic growth of economic entities, therefore, most types of food products contain a large number of food additives that create the identical natural structure, taste, color of the product, etc. But the majority of food additives have either a synthetic origin or are subjected to deep physico-chemical influence during production, which determines their harmful effect on human health.

In the segment of frozen dessert products, the distinguishing feature of which is the multi-stage production process and the need to use special equipment, all modern technologies involve the use of foam and structure-forming food additives for the formation of a whipped and stable structure [5].

Experts in the dairy industry note that the direction of creating low-calorie ice cream through the use of vegetable fat substitutes is quite developed, however, numerous medical studies have proven the harm of such products to health, so more and more consumers refuse such a dessert and prefer more healthy products. However, unlike the countries of Europe, America and Asia, this segment of the frozen products market is unfilled in Ukraine. Therefore, technologists face the urgent problem of developing new technologies and adjusting the recipe composition of ice cream and frozen desserts in order to increase the content of protein and dietary fiber [6] against the background of reducing the amount of fat and sugar [7].

A promising way to solve this problem is to use low-fat dairy secondary raw materials as a basis for ice cream, such as casein, whey, sour milk cheese, low-fat goat milk, concentrated milk protein, etc. [8].

One of the ways to increase the dietary fiber content is the use of vegetable (pumpkin, carrot, tomato), fruit (apple, quince, etc.) and berry purees as a filler for dairy products or as a base for ice cream [9]. At the same time, the researchers note that due to the content of pectin substances and fiber, fruit and berry and vegetable purees play the role of a moisture-retaining and emulsifying component in food systems, and the presence of easily digestible sugars (mainly fructose and glucose) allow to exclude or limit the amount of sugar [10].

A new approach to the use of unused natural properties of raw materials can make it possible to maximize their functional properties, which will increase the economic efficiency of technolo-

gies by reducing the use of food additives and sugar, as well as increase the nutritional and biological value of finished products.

The analysis of the diet of Ukrainian citizens shows its non-compliance with the requirements of nutrition due to insufficient consumption of proteins, minerals, vitamins and an overload of simple carbohydrates. The modern diet requires improvement in the production of products in priority directions: functional and low-fat food products, with reduced sugar content or without sugar and with a low glycemic index [11]. The assortment of ice cream with sugar substitutes in Ukraine is insignificant, production volumes are limited to the production of ice cream with xylitol and sorbitol. The modern approach to the creation of food products is connected, in particular, with the use of the concept of glycemic indices and glycemic load.

Consumer demand for healthier products is driving down the sugar content in dairy products. Sugar plays an important role in ice cream not only for flavor, but also for texture, color and viscosity. There are natural and artificial sweeteners designed to reduce sugar levels [12]. However, there is little information on the effect of high-intensity sweeteners and fat substitutes on the perception of sensory properties of ice cream [13].

In recent years, in many scientific works of Ukrainian and foreign scientists (A.M. Dorohovych, V.F. Dotsenko, N.A. Didukh, D. Richarda), considerable attention has been paid to the production of food products with sugar substitutes.

It is proposed to solve the problem of reducing the glycemic index of ice cream by using sugar substitutes (stevia, lactite, sorbitol, aspartame) [14] and fructose [15].

The technology of ice cream with fructose, prebiotic and sour milk cheese was developed, which ensure the production of high-quality ice cream with reduced glycemia and improved nutritional and biological value [16]. It was found that the introduction of sugar substitutes — fructose and sorbitol into ice cream increases the content of bound moisture by 4.2%, which improves the structure and consistency of ice cream and reduces the glycemic index of the finished product by 8.75%.

At the current stage, many researchers will develop ice cream with prebiotics (usually inulin or other non-starch oligosaccharides) [17] or probiotics [18, 19].

The effect of adding probiotics on the quality indicators of ice cream was studied [20]. According to the authors, the whipped texture of ice cream was found to improve the gastrointestinal tolerance of probiotics compared to natural yogurts and fruit yogurts, as evidenced by an in vitro stomach survival study of probiotics (*B. animalis*). In addition, it was determined that the addition of *B. animalis* decreased the pH, but did not affect the physicochemical properties and melting of ice cream, and obtained good sensory evaluations and satisfactory probiotic viability [21].

Currently, a promising direction is the use of dairy processing products in the production of ice cream — buttermilk, whey, sour milk cheese, yogurt [22, 23], which is expedient from the point of view of manufacturability, high nutritional value, and rational use of by-products of dairy production.

Considering the above, it can be concluded that dairy technologists are conducting quite intensive scientific work to find new ways to improve recipes and technologies of ice cream and frozen desserts in the direction of creating products with a reduced glycemic index. Thus, the scientific substantiation and development of the technology of frozen dessert products with a low glycemic index based on low-fat dairy raw materials is relevant today.

**Objective of the article** is to study functional and technological indicators of semi-finished products for frozen dessert products.

**Presentation of the main study material.** Pasteurization is one of the most important operations in the production of mixes for soft ice cream and frozen desserts. The defining parameters of this treatment are the temperature and duration of its effect on the mixture, which determine its effectiveness.

The heat resistance of model mixtures is influenced by individual recipe components. Therefore, in order to develop the necessary modes of heat treatment of liquid semi-finished products for frozen desserts, a study of their heat resistance was conducted. Research on thermal stability was carried out in the temperature range of 80...95 °C.

**Table 1** — Heat resistance of model mixtures for sweet dishes

The name of the sample	Heat resistance of mixtures during heat treatment, ·60-1sec			
	80±2°C	85±2°C	90±2°C	95±2°C
Control [8]	12±0,3	6±0,2	4±0,3	2±0,2
A mixture based on whey with lactulose and fructose	6±0,2	4±0,2	3±0,15	0

The results of the conducted research confirm that the composition of mixtures for frozen desserts affects their heat resistance. It was established that the addition of recipe components significantly reduces heat resistance: at a processing temperature of 80...82 °C, the heat resistance of the mixture [8] decreases by 1.7 times, and that of the developed 1% mixture by 2 times. With a further increase in temperature, the heat resistance of the above-mentioned mixtures decreased. The decrease in the level of heat resistance of the latter can be explained by the fact that with an increase in dry substances in the mixtures, the content of mineral elements increases, which leads to a change in the ionic balance in the system and affects the stability of milk proteins, as well as due to an increase in the acidity of the mixtures. Thus, it is rational to carry out the pasteurization process for the semi-finished product — at a temperature of 80...82 °C for (5.8...6.2)·60<sup>-1</sup>s.

Thus, on the basis of the set of researches, the most rational formulation of the mixture from the point of view of the properties of the obtained semi-finished product should be considered the formulation based on whey with the content of lactulose 1%, fructose 11.0%, stabilizer 0.4%, milk powder 8%. All the results obtained in this section were taken into account in subsequent studies, namely during the development of technological schemes of semi-finished products for frozen desserts.

In order to determine the objective assessment of quality, the functional and technological properties of the developed semi-finished products were investigated: the ability to whip, the ability to form stable foams, the degree of dispersion of the fat phase. As a control, a mixture for soft ice cream was used [8]. The degree of dispersity of the fat phase was assessed by determining the average diameter of fat globules of control and developed semi-finished products. The obtained data are given in table 2.

**Table 2** — Functional and technological indicators of the semi-finished product

Indicators	Control	Semi-finished product
Beating ability, %	60±1,5	70±1,8
The ability to form stable foams, %	65±1,5	80±2,0
The degree of dispersion of the fat phase, µm	110±2,8	90±2,3

The analysis of research results showed that the semi-finished product has a higher whipping capacity (by 9.8...10.2%) compared to the control sample. The developed semi-finished product is able to form more stable foams — 1.3 times more than the control sample. The degree of dispersion of the fat phase of the semi-finished product is 1.2 times higher than that of the control sample. The obtained data were used during the development of the semi-finished product quality model.

Since the developed semi-finished products are new, non-traditional products planned for further use in the production of culinary products, it was necessary to investigate their nutritional value.

The concept of quality of food products is understood as a wide set of properties characterizing nutritional and biological value, organoleptic, structural-mechanical, functional-technological, sanitary-hygienic and other properties of the product, as well as the degree of their expressiveness. From the point of view of quality indicators, a food product must contain components necessary for the human body for normal metabolism.

The content of the main food substances in the developed semi-finished product, as well as its energy value are presented in the table. 3.



**Table 3** — Chemical composition of the semi-finished product

Product names	Content, g per 100 g					Energetic value, kcal
	Dry substances	Proteins	Lipids	Carbo-hydrates	Ash	
Control [8]	29,0±0,5	3,78±0,1	8,0±0,2	15,0±0,3	0,7	147,0
Semi-finished product	19,75	3,85±0,1	3,10±0,2	12,0±0,3	0,8	91,3

On the basis of the results, which are presented in Table 3.3, it is possible to produce biscuits, which the disintegration of the finished product is enriched with a high content of all nutrients, and it is possible to use vikoristany for processing in the product of eating without reducing the nutritional value. In addition, the disintegration of the finished product against lactulose in the amount of  $1 \pm 0.02$  g / 100 g.

It is important to characterize the protein speeches of the napivfabrikativ, that the stench can be brought up to the high-bility, high-yield and sufficient balance for the amino acid warehouse of the produktiv. Advances in protein allow recommending the inclusion of dietary supplements on the basis of dispersed beverages in the consumption of protein diets.

In this manner, we carried out an investigation about the high biological value of the dispersed beverages.

**Conclusions.** The analysis of literary sources showed that the creation of products with reduced glycemic load and functional properties are new ways of improving the technologies of ice cream and frozen desserts. It has been proven that the rational formulation of the mixture from the point of view of the properties of the obtained semi-finished product should be considered formulations based on serum with the content of lactulose 1%, fructose 11%, stabilizer 0.4%, dry milk 8%. The optimal pasteurization process for the semi-finished product was determined — at a temperature of 80...82°C for  $(5.8...6.2) \times 60^{-1}$ s. The whipping ability was  $70 \pm 1.8\%$ , the ability to form stable foams was  $80 \pm 2.0\%$ . A technological scheme for obtaining a semi-finished product for frozen desserts based on whey with lactulose, fructose, stabilizer was developed. A set of data characterizing the quality of the developed semi-finished product was obtained, and its high nutritional and biological value was proven. Modes and terms of storage of semi-finished products are substantiated: temperature  $-4...6^{\circ}\text{C}$ , no more than 3 months, in unsealed form — no more than 48 hours.

### References

1. Silva Junior, E., Caetano da Silva Lannes, S. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(1), 217–220. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100033>.
2. Nicholls, J. (2022). The glycemic index falls short as a carbohydrate food quality indicator to improve diet quality. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.896333>.
3. McCain, H.R., Kaliappan, S., & Drake, M.A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101 (10), 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>.
4. Singh, P., Ban, Y.G., Kashyap, L., Siraree, A., Singh, J. (2020). Sugar and sugar substitutes: recent developments and future prospects. In: Mohan, N., Singh, P. (eds) *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_4).
5. Kurt, A., Atalar, I. (2018). Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.011>.
6. Daw, E., Hartel, R.W. (2015). Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. *International Dairy Journal*, 43, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001>.

7. Akbary, M., Eskandary, M.H., Davoudi, Z. (2019). Application and function of fat replacers in low fat ice cream: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.036>.
8. Slashcheva, A., Popova, S., Nykyforov, R., Korenets, Yu. (2016). Rationale for the use of protein-carbohydrate mix in the technology of disperse products. *Technology and equipment of food production*, 11(80), 64–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65789>.
9. Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Celeguini, R. M. S., Santos, R., Pastore, G. M., Conte Junior, C. A., Freitas, M. Q., Nogueira, L. C., Silva, M. C., Cruz, A. G. (2015). Effect of galactooligosaccharide addition on the physical, optical, and sensory acceptance of vanilla ice cream. *International Dairy Journal*, 98, 4266–4272. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9018>.
10. Cadena, R. S., Cruz, A. G., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A. (2012). Reduced fat and sugar vanilla ice creams: sensory profiling and external preference mapping. *Journal of Dairy Science*, 95 (9), 4842–4850. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5526>.
11. McGhee, C. E., Gupta, B. P., Park, Y. W. (2015). Evaluation of total fatty acid profiles of two types of low-fat goat milk ice creams. *Open Journal of Animal Sciences*, 5, 21–29. <https://doi.org/10.4236/ojas.2015.51003>.
12. Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: a review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>.
13. Gheisari, H. R., Heydari, S., & Basiri, S. (2020). The effect of date versus sugar on sensory, physicochemical, and antioxidant properties of ice cream. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 21(1), 9–14. PMID: 32368219; PMCID: PMC7183376.
14. Alizadeh, M., Azizi-Lalabadi, M., Kheirouri, S. (2014). Impact of using stevia on physicochemical, sensory, rheology and glycemic index of soft ice cream. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 390–396. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.54047>.
15. Treciokiene, E., Sostakiene, I. (2020). Effects of fructose and stevia on the rheological, technological and sensory characteristics of ice cream. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(1), 30–38. <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i1.90>.
16. Akalın, A.S., Kesencas, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., Kinik, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: structural characteristics and culture viability. *Journal of Dairy Science*, 101 (1), 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>.
17. Akbari, M., Hadi Eskandari, M., Bedeltavana, A., Niakosari, M. (2016). The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. *International Dairy Journal*, 57, 52–55. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.02.040>.
18. Cruz, A. G., Antunes, A. E. C., Sousa, A. L. O. P., Faria, J. A. F., Saad, S. M. I. (2019). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 2019, 42 (9), 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.020>.
19. Ranadheera, S. C., Evans, C. A., Adams, M. C., Baines, S. K. (2012). In vitro analysis of gastrointestinal tolerance and intestinal cell adhesion of probiotics in goat's milk ice cream and yogurt. *International Food Research*, 49 (2), 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.007>.
20. Rolon, M. L., Bakke, A. J., Coupland, J. N., Haye, J. E., Roberts, R. F. (2017). Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100 (7), 5217–5227. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12379>.
21. Lima da Silva, P. D., Fátima Bezerra, M., Olbrich dos Santos, K. M., Pinto Correia, R. T. (2015). Potentially probiotic ice cream from goat's milk: characterization and cell viability during processing, storage and simulated gastrointestinal conditions. *Food Science and Technology*, 62 (1), 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.055>.
22. Hickey, C. D., O'Sullivan, M. G., Davis, J., Scholz, D., Kilcawley, K. N., Wilkinson, M. G., Sheehan, J. J. (2018). The effect of buttermilk or buttermilk powder addition on functionality, textural, sensory and volatile characteristics of Cheddar-style cheese. *Food Research International*, 103, 468–477. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.081>.

23. Karaman, S., Toker, O.S., Yüksel, F., Çam, M., Kayacier, A., Dogan, M. (2014). Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order reference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. *Journal Dairy Science*, 97, 97–110. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7111>.

#### Список літератури

1. Silva Junior, E., Caetano da Silva Lannes, S. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(1), 217–220. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100033>.

2. Nicholls, J. (2022). The glycemic index falls short as a carbohydrate food quality indicator to improve diet quality. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.896333>.

3. McCain, H.R., Kaliappan, S., & Drake, M.A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101 (10), 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>.

4. Singh, P., Ban, Y.G., Kashyap, L., Siraree, A., Singh, J. (2020). Sugar and sugar substitutes: recent developments and future prospects. In: Mohan, N., Singh, P. (eds) *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_4).

5. Kurt, A., Atalar, I. (2018). Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.011>.

6. Daw, E., Hartel, R.W. (2015). Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. *International Dairy Journal*, 43, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001>.

7. Akbary, M., Eskandary, M.H., Davoudi, Z. (2019). Application and function of fat replacers in low fat ice cream: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.036>.

8. Slashcheva, A., Popova, S., Nykyforov, R., Korenets, Yu. (2016). Rationale for the use of protein-carbohydrate mix in the technology of disperse products. *Technology and equipment of food production*, 11(80), 64–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65789>.

9. Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Celeguini, R. M. S., Santos, R., Pastore, G. M., Conte Junior, C. A., Freitas, M. Q., Nogueira, L. C., Silva, M. C., Cruz, A. G. (2015). Effect of galactooligosaccharide addition on the physical, optical, and sensory acceptance of vanilla ice cream. *International Dairy Journal*, 98, 4266–4272. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9018>.

10. Cadena, R. S., Cruz, A. G., Faria, J. A. F., Bolini, H. M. A. (2012). Reduced fat and sugar vanilla ice creams: sensory profiling and external preference mapping. *Journal of Dairy Science*, 95 (9), 4842–4850. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5526>.

11. McGhee, C. E., Gupta, B. P., Park, Y. W. (2015). Evaluation of total fatty acid profiles of two types of low-fat goat milk ice creams. *Open Journal of Animal Sciences*, 5, 21–29. <https://doi.org/10.4236/ojas.2015.51003>.

12. Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: a review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>.

13. Gheisari, H. R., Heydari, S., & Basiri, S. (2020). The effect of date versus sugar on sensory, physicochemical, and antioxidant properties of ice cream. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 21(1), 9–14. PMID: 32368219; PMCID: PMC7183376.

14. Alizadeh, M., Azizi-Lalabadi, M., Kheirouri, S. (2014). Impact of using stevia on physicochemical, sensory, rheology and glycemic index of soft ice cream. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 390–396. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.54047>.

15. Treciokiene, E., Sostakiene, I. (2020). Effects of fructose and stevia on the rheological, technological and sensory characteristics of ice cream. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(1), 30–38. <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i1.90>.

16. Akalin, A.S., Kesenkas, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., Kinik, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: structural characteristics and culture viability. *Journal of Dairy Science*, 101 (1), 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>.
17. Akbari, M., Hadi Eskandari, M., Bedeltavana, A., Niakosari, M. (2016). The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. *International Dairy Journal*, 57, 52–55. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.02.040>.
18. Cruz, A. G., Antunes, A. E. C., Sousa, A. L. O. P., Faria, J. A. F, Saad, S. M. I. (2019). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 2019, 42 (9), 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.020>.
19. Ranadheera, S. C., Evans, C. A., Adams, M. C., Baines, S. K. (2012). In vitro analysis of gastrointestinal tolerance and intestinal cell adhesion of probiotics in goat's milk ice cream and yogurt. *International Food Research*, 49 (2), 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.007>.
20. Rolon, M. L., Bakke, A. J., Coupland, J. N., Haye, J. E., Roberts, R. F. (2017). Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100 (7), 5217–5227. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12379>.
21. Lima da Silva, P. D., Fátima Bezerra, M., Olbrich dos Santos, K. M., Pinto Correia, R. T. (2015). Potentially probiotic ice cream from goat's milk: characterization and cell viability during processing, storage and simulated gastrointestinal conditions. *Food Science and Technology*, 62 (1), 452–457. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.055>.
22. Hickey, C. D., O'Sullivan, M. G., Davis, J., Scholz, D., Kilcawley, K. N., Wilkinson, M. G., Sheehan, J. J. (2018). The effect of buttermilk or buttermilk powder addition on functionality, textural, sensory and volatile characteristics of Cheddar-style cheese. *Food Research International*, 103, 468–477. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.081>.
23. Karaman, S., Toker, O.S., Yüksel, F., Çam, M., Kayacier, A., Dogan, M. (2014). Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order reference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. *Journal Dairy Science*, 97, 97–110. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7111>.

**Мета** — дослідження функціонально-технологічних показників напівфабрикату для замороженої десертної продукції.

**Методи.** Для досліджень використовувалися матеріали: сироватка молочна згідно ДСТУ 7515:2014, молоко сухе згідно ДСТУ 4273:2003, система стабілізації для виробництва морозива Cremoran SI 320, що містить альгінат, камедь ріжкового дерева, гуаран, карагенан, згідно сертифікату виробника («Danisco A/S», Данія); лактулоза (лактулоза кристалічна «Lactulose» виробнича фірма «ServaFeinbio Chemica», Німеччина) та фруктоза, які були придбані у ТОВ «Альтекс», м. Дніпро. Вибір проб та підготовку їх до досліджень проводили за загальноприйнятими методиками. Визначення теплостійкості сумішей проводили за методикою, розробленою В. М. Поліщуком.

**Результати.** Доведено, що раціональною рецептурою суміші з точки зору властивостей одержуваного напівфабрикату слід вважати рецептури на основі сироватки з вмістом лактулози 1 %, фруктози 11 %, стабілізатора 0,4 %, сух. молока 8%. Визначено оптимальний процес пастеризації напівфабрикату — за температури 80...82°C протягом (5,8...6,2) 60-1с. Збиваюча здатність становила  $70 \pm 1,8\%$ , здатність утворювати стійкі піни  $80 \pm 2,0\%$ . Розроблено технологічну схему отримання напівфабрикату для заморожених десертів на основі молочної сироватки з лактулозою, фруктозою, стабілізатором. Отримано комплекс даних, що характеризують якість розробленого напівфабрикату, та доведено його високу харчову та біологічну цінність. Обґрунтовано режими і терміни зберігання напівфабрикатів: температура  $-4...6^\circ\text{C}$ , не більше 3 місяців, у незапечатаному вигляді — не більше 48 годин.

**Ключові слова:** напівфабрикат, заморожені десерти, пребіотик, фруктоза, лактулоза, підсирна сироватка.



# УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-38-46

УДК 663.81.05:664.857.039.3

*Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор*<sup>1</sup>  
*Дмитревський Д. В., канд. техн. наук, доцент*<sup>1</sup>  
*Перекрест В. В., асистент*<sup>2</sup>  
*Мороз І. А., здобувач ОС магістра*<sup>1</sup>  
*Бражник Я. С., здобувач ОС бакалавра*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна, e-mail: dmitrevskyidv@gmail.com.

<sup>2</sup> Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: perekrest@donnuet.edu.ua.

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МЕМБРАННОГО РОЗДІЛЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ

UDC 663.81.05:664.857.039.3

*Deynichenko G. V., Grand PhD of Engineering  
Science, Professor*<sup>1</sup>  
*Dmytrevskiy D. V., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor*<sup>1</sup>  
*Perekrest V. V., Assistant Professor*<sup>2</sup>  
*Moroz I. A., A graduate of a master's degree*<sup>1</sup>  
*Brazhnyk Y. S., A graduate of a bachelor's degree*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Biotechnological University (Kharkiv, Ukraine), e-mail: dmitrevskyidv@gmail.com.

<sup>2</sup> Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky (Kriviy Rig, Ukraine), e-mail: perekrest@donnuet.edu.ua.

## INTENSIFICATION OF MEMBRANE SEPARATION PROCESSES OF FOOD RAW MATERIALS

**Мета.** Метою статті є порівняння процесів фільтрації через мембранні фільтри при виробництві рідких харчових продуктів, та вибір більш досконаліших методів та обладнання для фільтрації соків з овочем та фруктів.

**Методи.** Під час проведення дослідження мембранних процесів та обладнання для їх реалізації були застосовані аналітичні методи дослідження. Проведено ретельний огляд мембранних технологій фільтрації, процесів освітлення та концентрації фруктових соків. Проаналізовано наявні способи мембранної обробки, а також нові перспективні напрями, що розробляються останнім часом.

**Результати.** В якості об'єкта дослідження був обраний процес мембранної фільтрації, який на сьогодні є найбільш перспективним. Очищення рідких харчових продуктів. Дана технологія дуже ефективна під час проведення процесів концентрування та освітлення фруктових соків. Мембрана не пропускає тверді речовини та бактерії, стають міцним заслоном для проходження твердих частинок. Було встановлено, що під час використання ультрафільтраційного та мікрофільтраційного обладнання були збережені колоїдні речовини і при цьому проходять всі цінні інгредієнти соку, а саме: органічні кислоти, цукри, мінерали, розчинні амінокислоти та вітаміни. При використанні мікрофільтраційних та ультрафільтраційних установок харчова та біологічна цінність триманного соку не змінюється. При проектуванні мембранних систем для очищення соків найбільш популярними виявились порожні волокна

Надійшла до редакції 10.11.2022 р.

© Г. В. Дейниченко, Д. В. Дмитревський,  
В. В. Перекрест, І. А. Мороз, Я. С. Бражник, 2022



*та рулонні мембранні елементи. Ці системи більш дешевші та продуктивніші. Використання обладнання із тангенціальними фільтрами дає такий ефект, як збереження органолептичних та структурних властивостей соків. Ще вони мають таку рису як самоочищення і при цьому не вимагають дорогих витратних компонентів. Проаналізовано традиційні технології та обладнання, що застосовується для обробки харчових рідин. Визначено недоліки існуючих технологічних процесів. Доведено доцільність удосконалення процесу освітлення соків із плодової сировини і створення устаткування для його реалізації. Запропоновано застосування мембранних технологій для обробки соків із плодової сировини. Наведено основні переваги впровадження мембранних технологій у процес обробки. Виявлено недоліки, що ускладнюють застосування мембранних технологій у виробничому процесі переробки рідких харчових середовищ. Обґрунтовано доцільність застосування ультрафільтраційних та мікрофільтраційних мембранних установок для освітлення фруктових соків.*

**Ключові слова:** *фруктовий сік, мембранна обробка під тиском, мікрофільтрація, ультрафільтрація, концентрація, освітлення, тангенціальна фільтрація*

**Постановка проблеми.** Переробка фруктів та плодово-ягідної сировини є достатньо перспективним напрямом харчової промисловості. Плодоовочева галузь виконує одне з основних завдань із забезпечення населення продуктами харчування, які мають високу біологічну і харчову цінність, а також містять незамінні для людини вітаміни і біологічно активні речовини. Важливим результатом плодовоовочевої промисловості є сік. Соки займають важливе місце в харчуванні людини, оскільки забезпечують всі потреби організму в корисних фізіологічно активних речовинах, дуже необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Одним з основних процесів виробництва яблучного соку є його освітлення. Це робиться для колоїдної стабілізації соку під час його зберігання, а також покращення товарного вигляду та органолептичних властивостей. Старі технології отримання соків використовували фільтрацію свіжого соку через пористі перегородки з великою втратою багатьох цінних речовин, при цьому додавали консерванти і застосовували теплову стерилізацію для забезпечення тривалого терміну зберігання. При використанні цього методу не завжди вдається отримати сік з високим рівнем якості. Інші методи освітлення і стабілізації отриманого соку засновані на додаванні до продукту сторонніх інгредієнтів, а саме — компонентів, що освітлюють. Разом з ними матеріалами до складу соку попадає велика кількість мінеральних та інших речовин. Час обробки продукту згідно до звичної технології становить більше ніж добу. Через тривалий контакту соку з киснем в ньому відбувається втрата частини корисних компонентів, що негативно позначається на якості в цілому.

Щоб відповідати високим міжнародним стандартам якості, треба впроваджувати сучасні технології. До таких технологій відносяться методи мембранної фільтрації технології, які забезпечують більший вихід, поліпшення якості, товарного вигляду і харчових цінностей соків. А також зберігаються всі амінокислоти вітаміни, та інші біологічно активні компоненти. При відмові від консервантів і стадії теплової стерилізації, це можливо. При різноманітних типах мембранної фільтрації можливо отримати більш сучасні технології концентрування соків та нові види харчової продукції. Найкращим результатом мембранної фільтрації при виробництві соку є його освітлення. Цей важливий крок здійснюється для руйнування колоїдних систем соків, видалення непотрібних високомолекулярних білкових, полі фенольних і пектинових речовин та мікроорганізмів. З іншого боку треба зберегти ряд цінних інгредієнтів, таких як цукри, різні вітаміни, мінеральні та ароматичні речовини, амінокислоти. Були проведені повномасштабні дослідження ультрафільтрації та мікрофільтрації мембранних технологій, які використовуються останні десятиліття у промисловому виготовленні фруктових-ягідних соків. Ці технології дають чудовий результат в освітленні, концентрації, стабілізації та відновленню ароматичних сполук [1].

При використанні процесів мембранної фільтрації галузь отримує соки з найкращими показниками якості, біологічної цінності та безпеки. При цьому споживається не багато енергії та стає мінімальним негативний вплив на довкілля.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Споживання фруктових соків суттєво зросло протягом останніх років, оскільки споживачі зацікавлені в якісних продуктах, які є практичними та готовими до споживання. Фруктові соки діють як поживні напої та можуть відігравати важливу роль у здоровому харчуванні, оскільки мають хімічний склад, який природним чином міститься у фруктах. На додаток до цього, фруктові соки багаті поживними речовинами з широким спектром вітамінів, мінералів, білків і різноманітних джерел захисних антиоксидантів. Це в поєднанні з освіжальним смаком і тривалим терміном зберігання робить фруктові соки одними з найбільш витребуваних напоїв. Під час переробки соків основними аспектами завжди були безпека та покращення якості, харчова цінність, мінімізація витрат на виготовлення продукту і здійснення процесу [2].

Традиційні способи виробництва соків передбачають кілька серійних операцій, які вимагають багато праці та часу. Технологічна схема традиційного виробництва передбачає механічне пресування соку з м'якоти фрукта, віджимання соку, освітлення соку центрифугуванням або фільтруванням та наступну стадію концентрування шляхом багатоступінчастого вакуумного випарювання [3].

Мембранні процеси є одним із підходів для концентрації та освітлення соку, що пропонує ряд переваг перед традиційними процесами сепарації. До цих переваг відносяться висока селективність, відсутність теплового стресу рідин, що оброблюються через помірні робочі температури, відсутність використання хімічних добавок, компактна і модульна конструкція, низьке енергоспоживання. На теперішній час, мембранні процеси, що здійснюються під тиском, такі як мікрофільтрація, ультрафільтрація являють собою найсучаснішу технологію для освітлення соку, їхнього фракціонування, а також концентрації. Останнім часом інші мембранні процеси, такі як осмотична дистиляція, мембранна дистиляція і первапорація почали використовуватися для концентрування соку та відновлення ароматичних сполук. Для освітлення соків застосовуються як мікрофільтраційні, так і ультрафільтраційні мембрани. Підготовлений сік на фільтраційній установці поділяється на освітлений пермеат і ретентат з колоїдними речовинами і мікроорганізмами. Ретентат є концентратом, який утворюється під час фільтрації. Ретентат складається, головним чином, із затриманих частинок осаду і суспензії мікроорганізмів. Збільшення концентрації твердих речовин в ретентаті призводить до зменшення його загального обсягу. Залежно від технології, яка використовується для переробки, вихід освітленого соку може досягати до 98%. З точки зору організації процесу мембранного освітлення соку, можуть бути реалізовані кілька варіантів його проведення. Під час мікрофільтрації та ультрафільтрації мембрана стає напівпроникним бар'єром. Він перепускає тільки певні компоненти рідких сумішей. Вимоги до мембран це перш за все: висока роздільна здатність, висока питома продуктивність, стійкість до впливу навколишнього середовища, механічна міцність [4].

На швидкість, якість процесу а також термін дії мембрани істотно впливає процес утворення осаду. Майже завжди шар осаду, який виникає на поверхні мембрани є солоне проникним. Він закуповує всі пори, таким чином створюються в прикордонному шарі ще більший опір масообміну і потоку. Це веде до збільшення концентраційної поляризації і як слід зніжується продуктивність. Це явище відомо майже всім процесам мембранної фільтрації. Це процес є збільшення концентрації розчинів на поверхні мембран [5].

Продуктивність мембранного апарата суттєво залежить від способу обробки плодово-ягідної сировини, а також від обробки первинного соку ферментами. Для того щоб отримати необхідні дані для розробки промислової системи проводиться оцінка основної технології та випробування для підбору раціональних умов фільтрації [6].

На сьогоднішній день широке поширення під час виробництва освітлених концентрованих яблучних соків отримав процес ультрафільтрації. В даному випадку ультрафільтрація може замінити сепаратор, кізельгуровий і пластинчастий фільтрпрес. Крім цього, ультрафільтрація замінює обробку сировини освітлювальними речовинами. Застосування ультрафільтраційний обробки дозволяє видалити тверді частинки, а також високомолекулярні компоненти, якими є крохмаль і білки. В сучасних умовах виробництва ультрафільтрація стала альтернативою, а в деяких випадках і заміною традиційного процесу

освітлення, забезпечуючи при цьому більш високу рентабельність процесу і якість продукту. З метою зниження вмісту пектину перед ультрафільтрацією сік необхідно очистити ензимами. Ця технологія гарантує високий вихід продукту, оптимальну продуктивність і якість кінцевого продукту. На відміну від мікрофільтраційної обробки ультрафільтрація соків усуває не тільки нерозчинні, але і розчинні речовини. До таких речовин відносяться пектин, крохмаль, білки, а також різні конденсовані форми поліфенолів.

**Мета статті** — проведення аналізу мембранних процесів, які використовуються для обробки харчових рідин, а також вибір обладнання для освітлення фруктов-ягідного соку, з більш ефективними показниками.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Освітлення соків ультрафільтрацією знаходить широке застосування в промисловості для освітлення і стабілізації якості вишневого, яблучного, виноградного, лимонного, апельсинового і інших соків. Відомо, що під час ультрафільтрації з яблучного соку видаляється приблизно 19...32% пектинових, 9,5...18,4% білкових з'єднань, 38,5...45% колоїдів. Видалення з яблучного соку високомолекулярних речовин в зазначеному обсязі дозволяє отримувати освітлений сік з високими харчовими якостями і органолептичними показниками. До переваг застосування ультрафільтрації під час освітлення плодово-ягідних соків можна віднести високу якість очищеного соку, особливо за показниками кольору, прозорості і смаку. Крім цього, перевагою є високе вилучення соку, що становить приблизно 98...99%. Обробка ензимів під час ультрафільтрації може бути автоматизована, а витрати знижені до 25% у порівнянні із традиційними способами. Слід також зазначити, що додаткові обробки желатином, бентонітом і кізельгуром можуть бути виключені. Крім вищезазначених переваг ультрафільтрація має низькі виробничі затрати, а також характеризується гігієнічністю конструкції. Після ультрафільтрації соку залишається деяка кількість осаду, що містить вичавки і частину соку, але їх вміст дуже незначний порівняно з тією кількістю, яку отримуються під час класичного процесу обробки.

Важливим показником ультрафільтраційного освітлення є те, що мембрани, затримуючи колоїди, пропускають багато цінних компонентів соку. До таких компонентів належать цукри, розчинні вітаміни, амінокислоти, органічні кислоти, а також мінеральні речовини. В результаті харчова і біологічна цінність соку не знижується [7].

На теперішній час були проведені дослідження залежності ступеня освітлення яблучного соку на ультрафільтраційних мембранних установках від діаметра пір мембран. Згідно з експериментальними даними, мембрани з діаметром пір 0,025–0,045 мкм забезпечують високу ступінь видалення колоїдних речовин при збереженні в соку вихідних кількостей цукрів, вітамінів та інших цінних розчинних речовин. Мембрани з великим діаметром пір не дозволяють отримувати необхідну ступінь освітлення. Мембрани з більш дрібними порами мають низьку пропускну здатність. Проведені дослідження доводять, що ультрафільтрація є економічно ефективним способом освітлення, який має суттєві переваги перед традиційними процесами освітлення. Однак слід зазначити, що соки повинні піддаватися попередній обробці. Дослідження по визначенню впливу попередньої підготовки соку на швидкість і фільтрувальну здатність ультрафільтраційних установок під час обробки яблучного соку показали, що найбільш ефективна обробка ферментами з подальшою сепарацією. Застосування додаткового освітлення яблучного соку желатином і кізельземом перед ультрафільтрацією показало низьку ефективність. Залежно від типу ультрафільтраційної установки, яблучний сік часто перед ультрафільтрацією обробляють ферментами і сепарують або фільтрують [8, 9].

Значні труднощі практичного застосування ультрафільтраційних методів біотехнології обумовлені забрудненням мембран. При роботі на неочищених препаратах апарат може вийти з ладу протягом декількох днів або годин роботи. Забруднення мембрани можуть викликати колоїдні та зважені частинки, мікроорганізми, органічні сполуки та важкорозчинні компоненти розчинів, що осідають на мембрані в процесі концентрування. Серед суспензій найбільший внесок у забруднення мембрани роблять частинки розміром порядку часток мікрона, що призводять до зниження як питомої продуктивності, так і

селективності мембрани. Забруднення мембрани залежить від багатьох факторів розміру та концентрації частинок, наявності на них заряду, рН та іонної сили розчину, умов проведення процесу та ін. Мікроорганізми, подібно до колоїдних частинок, осідаючи на поверхні мембрани, створюють додатковий гідравлічний опір потоку фільтрату. З іншого боку, багато хто з них може призвести до біодеструкції мембран. Особливо нестійкі в цьому відношенні ацетатцелюлозні мембрани, які не можна до того ж піддавати термічній стерилізації [10].

Характеристики матеріалу мембрани, включаючи поверхневий заряд, гідрофобність і шорсткість, відіграють ключову роль у забрудненні мікрофільтраційних та ультрафільтраційних мембран. Гідрофільні мембрани демонструють меншу тенденцію до забруднення через меншу адсорбцію органічних частинок. Мембрани з більш гладкими поверхнями також зменшують явище адсорбції, обмежуючи утворення поляризаційного шару. Модифікація поверхневої структури гідрофобних полімерних мембран шляхом хімічної та фізичної обробки є цікавим підходом до зменшення забруднення ультрафільтраційних мембран. Техніка модифікації поверхні ультрафільтраційних мембран шляхом газоплазмової обробки була досліджена відносно нещодавно. Необроблений яблучний сік був освітлений за допомогою мембран, модифікованих плазмовою обробкою кисню при низькому тиску [11, 12]. Плазмова дія призвела до вищої гідрофільності та меншої шорсткості поверхні та, як наслідок, до покращеної дії проти обростання порівняно з необробленими мембранами. Довготривале поступове зниження потоку все ще переважало при обробці мембранами, обробленими плазмою, але швидкому зменшенню початкового потоку пермеату вдалося запобігти дії плазми через відштовхування заряду між модифікованою мембраною та частинками забруднення. Нещодавно було досліджено використання занурених мембран як цікаву альтернативу системам поперечної фільтрації для освітлення фруктових суспензій. У цій конфігурації мембрани з плоскими або порожнистими волокнами занурені в суспензію, а фільтрація, як правило, забезпечується всмоктуванням пермеату при постійному потоці. Було встановлено, що оптимальні потоки пермеату мікрофільтраційних мембран із зануреними в порожнисті волокна під час обробки виноградного соку становлять приблизно 5–7 л/м<sup>2</sup> год. Ці значення були нижчими, ніж виміряні для фільтрації з поперечним потоком; з іншого боку, якість освітленого соку була подібною до якості звичайного фільтрування з поперечним потоком. Завдяки своїй компактності, легкому поводженню та мобільності, низьким інвестиціям та експлуатаційним витратам занурені мембрани можуть стати новітнім підходом для невеликих виробництв фруктових соків [13].

Якщо розглядати матеріали, з яких виготовляють мембрани, то полімерні мембрани домінують на промисловому ринку мембранних технологій. Вони відносно дешеві, прості у виготовленні та доступні в широкому діапазоні розмірів пор. Найпоширеніші полімерні мембрани виготовляються з ацетату целюлози, полісульфону, полієфірсульфону, політетрафторетилену, поліпропілену, поліетилену, полівініліденфториду, поліакрилонітрилу та поліамід. Керамічні мембрани виготовляються з неорганічних матеріалів (наприклад, оксид алюмінію, цирконію, титану та кремнезему). Вони виявляють високу стійкість до агресивних середовищ (кислот, лугів, сильних розчинників), а також високу механічну та термічну стійкість. Незважаючи на те, що вартість їх виробництва вища, ніж у полімерних мембран, вони екологічно чисті, довговічні та мають довший термін служби [14, 15].

Самим ефективним методом мембранної фільтрації є тангенціальна фільтрація. Цей метод, маючи плюси традиційних методів, таких як центрифугування, фільтрація, відстоювання, також має тангенціальна фільтрація в проточних мембранних елементах має суттєві переваги, а саме: відсутність застійних зон в камері, високу роздільну здатність, можливість промивання не розбираючи сам апарат, а також не велику енергоємність, компактність та простоту апаратного оформлення. Широке застосування для процесів мембранного поділу суспензій ультрадисперсних матеріалів знайшли трубчасті фільтри, що мають низку важливих технологічних переваг у порівнянні з іншими типами фільтрів. Однак, їхня продуктивність не завжди задовільна. Одним із шляхів її підвищення є



штучна турбулізація потоку за допомогою вбудованих пристроїв. Реалізація цього підходу вимагає розробки методів розрахунку та проектування трубчастих мембранних апаратів з турбулізуючими пристроями, а також пошуку оптимальних конструктивних рішень та визначення умов проведення.

Тангенціальна фільтрація являє собою технологію, в якій використовуються пористі мембрани (рис. 1), здатні затримувати частинки від 0,2 до 0,4 мкм (мікрон). Мембра-

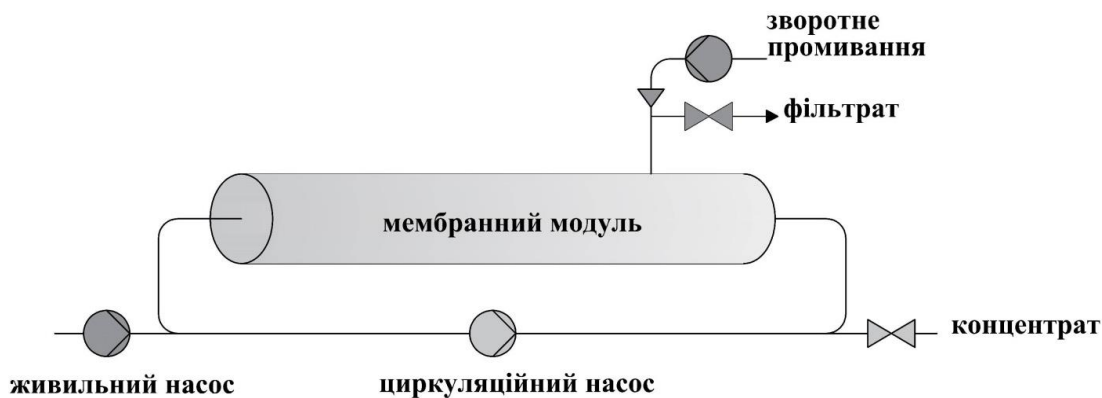


Рисунок 1 — Схема тангенціальної фільтрації

на, що використовується є вузькою, тому за допомогою цього типу фільтрації видаляються такі мікроорганізми, як дріжджі, що викликають псування продукту. Особливість тангенціальної фільтрації полягає в тому, що продукт подається дотично, а не фронтально до мембрани. Крім того, перевага тангенціальної фільтрації полягає в тому, що середовище, що фільтрує, засмічується тільки на поверхні, що полегшує очищення, яка проводиться після кожного циклу використання. Існує два типи мембран, що використовуються для тангенціальної фільтрації. До них відносяться органічні мембрани та керамічні мембрани.

Використовуючи методи мембранної фільтрації у харчовій галузі при очищенні та концентруванні розчинів можливо обійтись без підігріву та випрівання. Для підготовки води, стабілізації напоїв, концентрування та освітлення плодкових соків та сиропів також застосовують мембранні технології. Якщо порівнювати їх з процесами випарювання або виморожування, то методи мембранного поділу дозволяють покращити якість і отримати більший вихід отриманого продукту.

**Висновки.** Таким чином, були проаналізовані сучасні технологічні процеси та обладнання для впровадження мембранних процесів фільтрації. Були визначені технології для освітлення та концентрування різних соків. Розглянуті основні методи і порядок обробки соку, а саме процес освітлення соку застосовуючи наявні технології та обладнання. Зроблені висновки про актуальність методів фільтрації та освітлення та концентрації фруктових соків, показані напрямки удосконалення процесу концентрування і освітлення плодово-ягідних соків. Був детально проаналізований процес мембранної фільтрації тупиковому і тангенціальному режимам та показані плюси та мінуси цих процесів. Проведені аналітичні дослідження доводять, що впровадження мембранних технологій у виробничий процес дасть можливість більшого виходу продукту, збереже харчову біологічну цінність соку, покращити якість готового продукту.

#### Список літератури

1. Sharifanfar R., Mirsaedghazi H., Fadavi A., Kianmehr M.H. Effect of feed canal height on the efficiency of membrane clarification of pomegranate juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2015. Vol. 39. P. 881–886. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12299>.
2. Дейниченко Г. В., Дмитревський Д. В., Перекрест В. В. Дослідження процесу теплової обробки плодів під час виготовлення яблучного пюре. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове видання*. 2020. Вип. 20. Т. 1. С. 133–142. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-133-141>.



3. Дейниченко Г. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Афукова Н. О. Аналіз застосування мембранних апаратів для виробництва соків із плодової сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21. Т. 1. С. 36–43. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43>.
4. Cherevko O. I., Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Guzenko V. V., Heiier H. V., Tsvirkun L. O. Application of membrane technologies in modern conditions of juice production. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2020. Вип. 2 (32). С. 67–77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4369743>.
5. Deinychenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Zolotukhina I. V., Perekrest V. V., Guzenko V. V. Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. 2021. Вип. 1 (33). С. 89–98. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5036090>.
6. Domingues R. C. C., Ramos A. A., Cardoso V., Reis M. H. M. Microfiltration of passion fruit juice using hollow fibre membranes and evaluation of fouling mechanisms. *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 121. P. 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.037>.
7. Дейниченко Г. В., Золотухіна І. В., Дмитревський Д. В., Гузенко В. В., Пerekrest В. В., Гладкова О. С. Сучасні технології баромембранних процесів у харчовій промисловості. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2021. № 2 (43). С. 86–93. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2021-43-2-86-93>.
8. Yukun Li, Jianquan Luo, Yinhua Wan. Biofouling in sugarcane juice refining by nanofiltration membrane: Fouling mechanism and cleaning. *Journal of Membrane Science*. 2020. Vol. 612, 118432. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118432>.
9. Emel Yilmaz, Pelin Onsekizoglu Bagci. Ultrafiltration of Broccoli Juice Using Polyethersulfone Membrane: Fouling Analysis and Evaluation of the Juice Quality. *Food and Bioprocess Technology*. 2019. Vol. 12. P. 1273–1283. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02292-0>.
10. Samreen Ch., Satyanarayana V. V., Edukondalu L., Beera V., Srinivasa R. Effect of Pre-treatment on Aggregation, Biochemical Quality and Membrane Clarification of Pomegranate Juice. *Indian Journal of Ecology*. 2022. 49(3). P. 910–918. <https://doi.org/10.55362/IJE/2022/3615>.
11. David Inhyuk Kim, Gimun Gwak, Min Zhan, Seungkwon Hong. Sustainable dewatering of grapefruit juice through forward osmosis: Improving membrane performance, fouling control, and product quality. *Journal of Membrane Science*. 2019. Vol. 578. P. 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.02.031>.
12. Xiaochan An, Yunxia Hu, Ning Wang, Zongyao Zhou, Zhongyun Liu. Continuous juice concentration by integrating forward osmosis with membrane distillation using potassium sorbate preservative as a draw solute. *Journal of Membrane Science*. 2019. Vol. 573. P. 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.12.010>.
13. Omar J. M., Nor M. Z. M., Basri M. S. M., Che Pa N. F. Clarification of guava juice by an ultrafiltration process: analysis on the operating pressure, membrane fouling and juice qualities. *Food Research*, 4. 2017, Suppl. 1. P. 85–92. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(s1\).s30](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(s1).s30).
14. Yee W. P., Nor M. Z. M., Basri M.S.M., Roslan J. Membrane-based clarification of banana juice: pre-treatment effect on the flux behaviour, fouling mechanism and juice quality attributes. *Food Research*. 2021. 5/1. pp. 57-64. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(s1\).046](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(s1).046).
15. Miyoshi T., Yuasa K., Ishigami T., Rajabzadeh S., Kamio E., Ohmukai Y., Saeki D., Ni J., Matsuyama H. Effect of membrane polymeric materials on relationship between surface pore size and membrane fouling in membrane bioreactors. *Applied Surface Science*. 2015. Vol. 330. P. 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.018>.

## References

1. Sharifanfar, R., Mirsaedghazi, H., Fadavi, A., Kianmehr, M.H. (2015). Effect of feed canal height on the efficiency of membrane clarification of pomegranate juice, *Journal of Food Processing and Preservation*, Vol. 39, pp. 881–886. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12299>.
2. Deinychenko, G., Dmytrevskiy D., Perekrest, V. (2020). *Doslidzhennia protsesu teplovoi obrobky plodiv pid chas vyhotovlennia yabluchnoho piure* [Follow-up to the process of thermal pro-

cessing of fruits under the hour of preparation of apple puree]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu : naukove fakhove vydannia* [Practice of the Taurian State Agrotechnological University: science and industry knowledge], 2020/1, pp. 133–142. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-133-141>.

3. Deinychenko, G. V., Dmytrevskiy, D. V., Guzenko, V. V., Afukova, N. O. (2021). *Analiz zastosuvannia membrannykh aparativ dlia vyrobnytstva sokiv iz plodovoi syrovyny* [Analysis of the use of membrane devices for the production of fruit juices]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu* [Proceedings of the Tavria State agrotechnological university], TSATU, Melitopol, pp. 36–43. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-1-36-43>.

4. Cherevko, O. I., Deinychenko, G. V., Dmytrevskiy, D. V., Guzenko, V. V., Heiier, H. V., Tsvirkun, L. A. (2020). Application of membrane technologies in modern conditions of juice production, *Prohresyvna tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Advanced techniques and technologies of food production of the restaurant industry], 2020, 2(32), pp. 67–77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4369743>.

5. Deinychenko, G. V., Dmytrevskiy, D. V., Zolotukhina, I. V., Perekrest, V. V., Guzenko, V. V. (2021). Directions of improvement of processes of membrane separation of juices from fruit and berry raw materials. *Prohresyvna tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Advanced techniques and technologies of food production of the restaurant industry], 2021, pp. 89–98. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5036090>.

6. Domingues R. C. C., Ramos A. A., Cardoso V., Reis M. H. M. Microfiltration of passion fruit juice using hollow fibre membranes and evaluation of fouling mechanisms. *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 121. P. 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.037>.

7. Deynichenko, G.V., Zolotukhina, I.V., Dmytrevskiy, D.V., Guzenko, V.V., (2021). Perekrest, V.V., Hladkova, O.S. *Suchasni tekhnolohii baromembrannykh protsesiv u kharchovii promyslovosti* [Modern technologies of baromembrane processes in the food industry], *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv* [Equipment and technologies of food production], № 2 (43), pp. 86–93. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2021-43-2-86-93>.

8. Yukun, Li, Jianquan, Luo, Yinhu, Wan. (2020). Biofouling in sugarcane juice refining by nanofiltration membrane: Fouling mechanism and cleaning, *Journal of Membrane Science*, Vol. 612, 118432. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118432>.

9. Emel, Yilmaz, Pelin, Onsekizoglu Bagci. (2019). Ultrafiltration of Broccoli Juice Using Polyethersulfone Membrane: Fouling Analysis and Evaluation of the Juice Quality, *Food and Bioprocess Technology*, Vol. 12, pp 1273–1283. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02292-0>.

10. Samreen, Ch. V. V. Satyanarayana, L., Edukondalu, Vimala Beera, Srinivasa Rao. (2022). Effect of Pre-treatment on Aggregation, Biochemical Quality and Membrane Clarification of Pomegranate Juice. *Indian Journal of Ecology*, 49(3), pp. 910–918. <https://doi.org/10.55362/IJE/2022/3615>.

11. David, Inhyuk Kim, Gimun, Gwak, Min, Zhan, Seungkwon, Hong. (2019). Sustainable dewatering of grapefruit juice through forward osmosis: Improving membrane performance, fouling control, and product quality, *Journal of Membrane Science*, Vol. 578, pp. 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.02.031>.

12. Xiaochan, An, Yunxia, Hu, Ning, Wang, Zongyao, Zhou, Zhongyun, Liu. (2019). Continuous juice concentration by integrating forward osmosis with membrane distillation using potassium sorbate preservative as a draw solute, *Journal of Membrane Science*, Vol. 573, pp. 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.12.010>.

13. Omar, J. M., Nor, M. Z. M., Basri, M. S. M., Che Pa, N. F. (2017). Clarification of guava juice by an ultrafiltration process: analysis on the operating pressure, membrane fouling and juice qualities, *Food Research*, 4/1, pp. 85–92. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(s1\).s30](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(s1).s30).

14. Yee, W. P., Nor, M. Z. M., Basri, M. S. M., Roslan, J. (2021). Membrane-based clarification of banana juice: pre-treatment effect on the flux behaviour, fouling mechanism and juice quality attributes. *Food Research*. 5/1. pp. 57–64. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(s1\).046](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(s1).046).

15. Miyoshi, T., Yuasa, K., Ishigami, T., Rajabzadeh, S., Kamio, E., Ohmukai, Y., Saeki, D., Ni, J., Matsuyama, H. (2015). Effect of membrane polymeric materials on relationship between

surface pore size and membrane fouling in membrane bioreactors, *Applied Surface Science*, Vol. 330, pp. 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.018>.

**Objective.** *The purpose of the article is to analyze the membrane processes used to process liquid food media, as well as to identify the most efficient and energy-saving methods and equipment for illuminating fruit juices.*

**Methods.** *During the study of membrane processes and equipment for their implementation, analytical research methods were applied. A detailed review of membrane filtration technologies, clarification processes and concentration of fruit juices was carried out. The existing methods of membrane treatment, as well as new promising areas developed recently, are analyzed.*

**Results.** *Membrane filtration technologies, which are currently widely recognized as the most promising methods for cleaning liquid food media, were chosen as the object of study. These technologies are quite effective in carrying out the processes of concentration and clarification of fruit juices. The membranes contribute to the effective removal of solids and microbes. Membrane filters provide a reliable physical barrier to the passage of particles. It was found that when using ultrafiltration and microfiltration plants, colloidal substances are preserved, but all valuable components of the juice, such as sugar, organic acids, minerals, soluble vitamins and amino acids, are skipped. As a result of the use of ultrafiltration and microfiltration plants, the nutritional and biological value of clarified juices does not decrease. The possibilities of using microfiltration and ultrafiltration membrane treatment for the processes of concentration and clarification of juices from fruit and berry raw materials are revealed. The most popular in the design of membrane systems are empty fibers and rolled membrane elements. Systems based on them are the cheapest and most efficient. The use of membrane plants with tangential filters contributes to the preservation of the structural and organoleptic properties of the product. In addition, tangential filters are self-cleaning and do not require expensive consumables. Traditional technologies and equipment for the processing of food liquids are analyzed. The shortcomings of existing technological processes are determined. The expediency of improving the process of clarification of juices from fruit raw materials and the creation of equipment for its implementation has been proved. The use of membrane technologies for the processing of juices from fruit raw materials is proposed. The main advantages of introducing membrane technologies into the processing process are presented. The disadvantages that complicate the use of membrane technologies in the production process of processing liquid food media are revealed. The expediency of using ultrafiltration and microfiltration membrane plants for clarification of fruit juices is substantiated.*

**Key words:** *fruit juice, pressure-driven membrane processing, microfiltration, ultrafiltration, concentration, clarification, tangential filtration.*

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-47-52  
UDC 681.51.015.23:(631.362:[631.576:582.711.714])

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences*  
*Tsvirkun L. O., PhD in Pedagogical sciences*  
*Ivashchuk H. H., A graduate of a bachelor's degree*

<sup>1</sup> Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rig, Ukraine, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

## OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF ENERGY-EFFICIENT AUTOMATED CONTROL OF THE PROCESS OF SORTING APPLES WITH THE RECOGNIZATION OF THEIR VARIETIES

УДК 681.51.015.23:(631.362:[631.576:582.711.714])

*Омельченко О. В., канд. техн. наук*  
*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук*  
*Іващук Г. Г., здобувач ОС бакалавра*

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

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СОРТУВАННЯ ЯБЛУК ІЗ РОЗПІЗНАВАННЯМ ЇХ РІЗНОВИДІВ

**Objective.** *The purpose of the article is to optimize the parameters of energy-efficient automated control of the apple sorting process with the recognition of their varieties.*

**Methods.** *In the work, to evaluate groups of closely spaced objects and extract apples from a set of options to be selected from the general flow, multi-criteria selection methods were used, namely: lexicographic, ideal point, selection by the main criterion, convolution. specific criteria.*

**Results.** *It is noted that today it is difficult to imagine the functioning of any technological facility, including food sorting processes, without an automated control system. Enterprises must not only ensure the safety and sustainability of technical processes, but also constantly improve their economic efficiency. It is believed that the automation of sorting processes is one of the most relevant areas in the food industry. However, so far the sorting process has not been considered holistically, taking into account the methodological, theoretical and technological components. Therefore, one of the main ways to improve the efficiency of the technological process is, of course, the improvement of technology and modes of technological processes at the enterprise. Attention is focused on the fact that significant effects can be achieved by improving automated process control systems by including in their structure the system of the intellectual component of the mathematical apparatus operating on the basis of fuzzy logic algorithms, neural networks, etc. A comprehensive analysis of the methods of multi-criteria choice was carried out, namely: lexicographic, ideal point, selection of the main criterion, convolution of particular criteria. It is believed that automatic sorting methods are based on the formation of systems for selecting suitable parameters for solving object recognition problems. When qualitatively-quantitatively assessing the criterion of interfixation and selection of apples on the sorting device, the following characteristics are taken into account: size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ). In this case, the centers of image fragments are located at points that correspond to the predicted coordinates of a given object, that is, they are identified using discriminant functions. Based on a comprehensive analysis, an algorithm is proposed with the inclusion of an intellectual component of a mathematical apparatus in the structure of the system, working on the basis of fuzzy logic algorithms. The proposed method for automatic sorting of apples is a promising direction for improving technical and economic indicators in food production.*

**Key words:** *sorting, automation, parameter optimization, sorting attachments, technological processes, apple, methods of rich-criteria selection, algorithm, grub industry.*

Надійшла до редакції 29.10.2022 р. © О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун, Г. Г. Іващук, 2022



**Formulation of the problem.** Today it is quite difficult to imagine the functioning of any technological facility without an automated control system, including the processes of sorting food products. Enterprises are forced not only to ensure the safety and sustainability of technological processes, but also to constantly improve their economic efficiency.

Of course, one of the main ways to improve the efficiency of technological processes is to improve the technology and modes of technological processes at the enterprise [1]. A significant effect can be obtained by improving automated process control systems with the inclusion in the structure of the system of the intellectual component of the mathematical apparatus operating on the basis of fuzzy logic algorithms, neural networks, etc. To separate the control algorithm for the apple sorting process, it is necessary to analyze the technological process, determine the place of the mathematical apparatus in the structure of the process control system.

**Analysis of recent research and publications.** Making an assessment between groups of closely spaced objects that must meet quality indicators is quite difficult. Therefore, it is advisable to use the methods of multi-criteria selection to extract apples from a variety of options to be selected from the general flow. The choice of the optimal variant requires consideration of appropriate approaches to solving the problem of sorting apples, including lexicographic, ideal points, the method of analyzing hierarchies, highlighting the main criterion, convolution of partial criteria, etc.

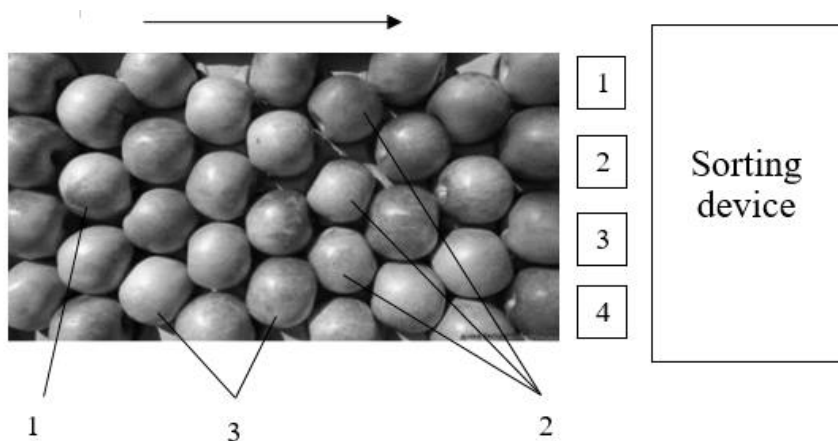
According to the lexicographic approach, in multicriteria optimization problems, both in a clear [2] and fuzzy [3] setting, first, particular criteria are ordered according to their degree of importance, and then each individual criterion is sequentially optimized from the most important to the least significant. The disadvantage of this group of methods is the ability to take into account only the fact of the advantage of one criterion over another, however, the degree of prevalence in this case is not taken into account, which can lead to an unjustified narrowing of the set of alternatives.

The application of the method of selecting the main criterion [4, 8, 9] is expedient if one of the particular criteria significantly exceeds the others in importance. In this case, the main criterion is considered the only one. The use of this approach when forming the management of the process of sorting apples is not advisable due to the lack of sufficiently significant advantages of private criteria, as well as the need to use special methods to justify the limiting values of private criteria in the process of converting them into restrictions.

**Objective of the article** — optimization of parameters of energy-efficient automated control of the process of sorting apples with recognition of their varieties.

**Presentation of the main study material.** Automatic sorting methods are based on the formation of a system for selecting appropriate parameters for solving object recognition problems. When forming a qualitatively quantitative assessment of the criterion for interfixation and selection of apples on a sorting device, the following features are taken into account: size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ), (fig. 1).

Specific areas of the image containing apples with specified characteristics are scanned. In this case, the centers of the image fragments are located at the points corresponding to the



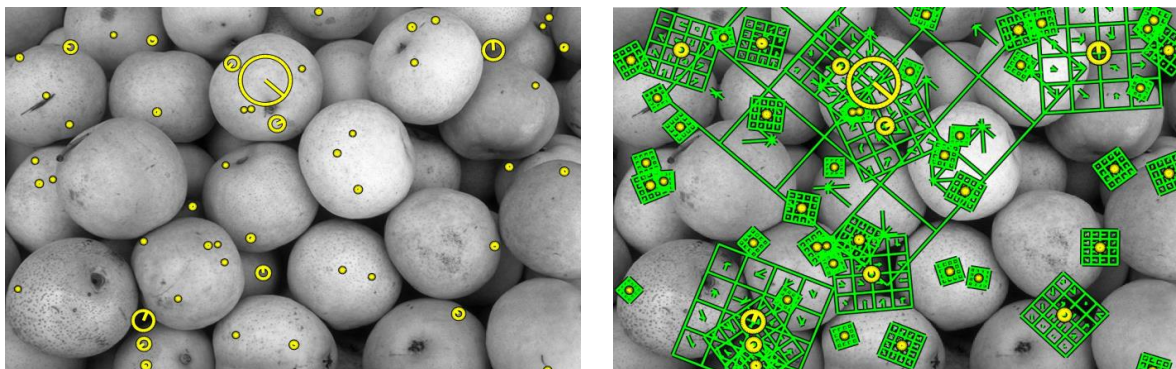
**Figure 1** — Features of sorting apples 1 — apple to be selected; 2, 3 — location options



predicted coordinates of the given objects. Recognition of apples is carried out using discriminant functions.

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, \tag{1}$$

where  $n$  — is the measuring vector of apple features.



**Figure 2** — The result of scanning some areas of the image flow of apples

Having  $W$  image classes  $w_1, w_2, w_w$  the recognition problem can be formulated as follows: you need to find  $W$  from functions  $d_1(x), d_1(x), \dots, d_w(x)$  that have properties such as i image  $x$  belonging to the class  $w_i$ , then

$$d_i(x) > d_j(x), j = 1, 2, \dots, W, j \neq i. \tag{2}$$

An unknown image  $x$  is assigned to the  $i$ -th class if, during the substitution of  $x$  in all discriminants of the function, the value will have the greatest value  $d_i(x)$  [5]. The distribution surface between classes  $w_i$  and  $w_j$  is the set of values  $x$  for which  $d_i(x) = d_j(x)$  or the set of vectors  $x$  for which  $d_i(x) - d_j(x) = 0$ . The distribution surface between two classes can be described by a single function

$$d_{ij}(x) = d_i(x) - d_j(x) = 0, \tag{3}$$

where  $d_{ij}(x) > 0$  — for class images  $w_i$ ;  $d_{ij}(x) < 0$  — for class images.

Finding the corresponding functions requires estimating the parameters of images that are representative of the given class. Feature vectors can be constructed based on quantitative descriptors for regions or boundaries. If the boundary is described using Fourier-descriptors, then the value of the  $i$ -th descriptor becomes the value  $x_i$ , that is, the  $i$ -th component of the feature vector. Let each class be defined by its averaging vector  $m_j$ , that is, the average value from the set of the given class is used as a representative (prototype) of the given class of vectors

$$m_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in w_j} x, \quad j = 1, 2, \dots, W, \tag{4}$$

де  $N_j$  — number of class images  $w_i$ ;  $W$  — number of image classes.

It is advisable to use the ability to reproduce an unknown image with a vector  $x$  to a certain class by choosing the class that has the prototype closest to the vector  $x$ . In this case, when using the euclidean distance as the degree of image density, the problem will be reduced to calculating the speed.

$$D_j(x) = \|x - m_j\|, j = 1, 2, \dots, W. \tag{5}$$

After that, the studied image will belong to the class  $w_i$  and will have the smallest distance  $D_j(x)$ . Therefore, the highest match will be determined based on the minimum distance to the prototype. If instead of one vector there are many feature vectors represented as rows of the matrix  $X$ , then you should get a matrix  $D$ , an element  $D(I, J)$ , which will be equal to the euclidean distance from the  $i$ -th vector with  $X$  to the  $j$ -th prototype with  $M$  [5, 7]. In this case, in order to determine the

class of the  $i$ -th image from  $X$ , it is enough to find the column number in row  $i$  of the matrix  $X$ , which has a minimum value. It follows from this that the choice of the shortest distance will be equivalent to the described function

$$d_j(x) = x^T m_j - \frac{1}{2} m_j^T m_j, J = 1, 2, \dots, W \quad (6)$$

assignment of  $x$  to the class  $w_i$  occurs at the highest value  $d_i(x)$ . The separating surface between classes  $w_i$  and  $w_j$  in the case of a classifier with a minimum distance is given by the equation

$$d_{ij}(x) = d_i(x) - d_j(x) = x^T (m_i - m_j - \frac{1}{2} (m_i - m_j)^T (m_i - m_j)) = 0 \quad (7)$$

The surface given by this equation is perpendicular to the connecting segment  $m_i$  and  $m_j$ , passes through its midpoint. The above algorithm operates with the size, weight, color of apples during the sorting process on the sorting device.

Therefore, a significant effect can be achieved by improving automated process control systems by including in their structure the system of the intellectual component of the mathematical apparatus operating on the basis of fuzzy logic algorithms, neural networks. It is proposed to scan certain areas of the image containing the desired apples according to the specified characteristics. When qualitatively-quantitatively assessing the criterion of interfixation and selection of apples on the sorting device, the following characteristics are taken into account: size( $d$ ), weight( $m$ ), color( $g$ ). In this case, the centers of image fragments are located at a point corresponding to the predicted coordinates of a given object, which is identifiable using discriminant functions. An algorithm is proposed with the inclusion in the structure of the system of an intellectual component of a mathematical apparatus operating on the basis of fuzzy logic algorithms.

**Conclusions.** Automation of sorting processes is one of the most relevant areas in the food industry. However, so far the sorting process has not been considered holistically, taking into account the methodological, theoretical and technological components. Therefore, one of the main ways to improve the efficiency of the technological process is, of course, the improvement of technology and modes of technological processes at the enterprise.

It is believed that automatic sorting methods are based on the formation of systems for selecting suitable parameters for solving object recognition problems. When qualitatively-quantitatively assessing the criterion of interfixation and selection of apples on the sorting device, the following characteristics are taken into account: size( $d$ ), weight( $m$ ), color( $g$ ). It is proposed to scan certain areas of the image containing the desired apples, according to the specified characteristics. In this case, the centers of image fragments are located at a point corresponding to the predicted coordinates of a given object, that is, they are identified using discriminant functions. On the basis of a complex analysis, an algorithm is proposed with the inclusion of an intellectual component of a mathematical apparatus in the structure of the system, working on the basis of fuzzy logic algorithms. The proposed method of automatic sorting of apples is a promising direction for improving the technical and economic indicators of food production.

### References

1. Baralo, O.V., Samoylenko, P.G. (2010). *Avtomatizatsiya tekhnologichnykh protsessov i sistem avtomaticheskogo obsluzhivaniya* [Automation of technological processes and systems of automatic curing]. Kyiv, 556 p.
2. Michael, Mandler. (2021). *Leksikograficheskiy metod v teorii predpochteniy* [The lexicographic method in preference theory]. *Ekonomicheskaya teoriya* [Economic Theory]. vol. 71(2). pp. 553–558.
3. Evren, O. (2011). *O mul'tipoleznom predstavlenii otnosheniy predpochteniya* [On the multi-utility representation of preference relations]. *Mat. ekonom* [Mathematical Economics]. vol. 47, pp. 554–563.
4. *Empiricheskiye issledovaniya: osobennosti, metody i kriterii* [Empirical research: characteristics, methods and criteria]. Available at : <https://www.lifepersona.com/empirical-research-characteristics-methods-and-criteria>.

5. Noghin, V.D., Baskov, O.V. (2021). *O mnogokriterial'nom vybore na osnove nechetkogo otnosheniya predpochteniya 2-go tipa: aksiomaticheskiiy podkhod* [On multicriteria choice based on type-2 fuzzy preference relation: an axiomatic approach]. *Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and management systems], vol. 12, pp. 126–130.
6. *Optimizatsiya: algoritmy i posledovatel'nyye priblizheniya* [Optimization: algorithms and consistent approximations]. Available at : [https://books.google.com.ua/books?id=uoXuBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gsbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=uoXuBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gsbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
7. Karin, Zielinski, Rainer, Laur (2007). *Kriterii ostanovki dlya odnotselevoy optimizatsii* [Stopping criteria for single-objective optimization]. *Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and management systems], vol. 45, pp. 245–230.
8. Lowe, G.D. (2004). *Otlichitel'nyye osobennosti izobrazheniya iz masshtabno-invariantnykh klyuchevykh toчек* [Distinctive image features from scale-invariant keypoints]. *Mezhdunarodnyy zhurnal komp'yuternogo zreniya* [International journal of computer vision], vol. 65(2), pp. 1–28.
9. Sineglazov, V. M., Sergeev, I. Yu. (2015). *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov*. [Automation of technological processes]. Kyiv, 341 p.
10. Parker, J., James, R. (2008). *Algorithms for image processing and computer vision*. Indiana: Wiley Publishing, 480 p.

### Список літератури

1. Барало О. В., Самойленко П. Г. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. К.: «Аграрна освіта», 2010. 556 с.
2. Michael Mandler. The lexicographic method in preference theory. *Economic Theory*. 2021. № 71(2). P. 553–558.
3. Evren O. On the multi-utility representation of preference relations. *Math. Econ*. 2011. № 47. P. 554–563.
4. Empirical research: characteristics, methods and criteria. URL : <https://www.lifepersona.com/empirical-research-characteristics-methods-and-criteria>.
5. Noghin V. D., Baskov O. V. On multicriteria choice based on type-2 fuzzy preference relation: an axiomatic approach. *Theory and management systems*. 2021. № 12. P. 126–130.
6. Optimization: algorithms and consistent approximations. URL: [https://books.google.com.ua/books?id=uoXuBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gsbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=uoXuBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gsbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
7. Karin Zielinski, Rainer Laur. Stopping criteria for single-objective optimization. *Theory and management systems*. 2007. №. 45. P. 245–230.
8. Lowe, G. D. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*. № 65(2). P. 1–28.
9. Синеглазов В.М., Сергеев І.Ю. Автоматизація технологічних процесів. К.: Аграрна освіта, 2015. 341 с.
10. Parker, J., James, R. Algorithms for image processing and computer vision. Indiana: Wiley Publishing, 2008. 480 p.

**Мета.** Метою статті є оптимізація параметрів енергоефективного автоматизованого керування процесом сортування яблук із розпізнаванням їх різновидів.

**Методи.** У роботі для здійснення оцінки між групами розташованих щільно об'єктів та вилучення яблук, з множини варіантів, які підлягають відбору із загального потоку, було застосовано методи багатокритеріального вибору, а саме: лексикографічний, ідеальної точки, виділення головного критерію, згортки частинних критеріїв.

**Результати.** Зазначено, що сьогодні важко уявити функціонування будь-якого технологічного об'єкта, в тому числі процесів сортування продуктів харчових, без автоматизованої системи управління. Підприємства мають не тільки забезпечувати безпеку та стійкість технічних процесів, а й постійно підвищувати їх економічну ефективність. Вважається, що автоматизація процесів сортування є одним з найбільш актуальних напрямків у харчовій

промисловості. Проте досі процес сортування не було розглянуто цілісно, враховуючи методологічну, теоретичну та технологічну складову. Тому одним із основних шляхів підвищення ефективності технологічного процесу є, безумовно, удосконалення технології та режимів технологічних процесів на підприємстві. Сконцентровано увагу на тому, що значних ефектів можна досягти удосконаленням автоматизованих систем управління технологічними процесами шляхом включення в їх структуру системи інтелектуальної складової математичного апарату, який працює на підставі алгоритмів нечіткої логіки, нейронних мереж тощо. Здійснено комплексний аналіз методів багатокритеріального вибору, а саме: лексикографічний, ідеальної точки, виділення головного критерію, згортки частинних критеріїв. Вважається, що методи автоматичного сортування засновані на формуванні систем вибору відповідних параметрів для вирішення задач розпізнавання об'єктів. При якісно-кількісній оцінці критерію інтерфіксації та відбору яблук на сортувальному пристрої враховуються такі характеристики: розмір ( $d$ ), маса ( $m$ ), колір ( $g$ ). Пропонується здійснювати сканування певних ділянок зображення, що містять шукані яблука, за вказаними характеристиками. При цьому, центри фрагментів зображення знаходяться в точці, що відповідає прогнозованим координатам даного об'єкта, тобто ідентифікуються за допомогою дискримінантних функцій. На основі комплексного аналізу запропоновано алгоритм із включенням в структуру системи інтелектуальної складової математичного апарату, який працює на підставі алгоритмів нечіткої логіки. Запропонований метод автоматичного сортування яблук є перспективним напрямком покращення техніко-економічних показників виробництва харчових продуктів.

**Ключові слова:** сортування, автоматизація, оптимізація параметрів, пристрій сортування, технологічні процеси, яблука, методи багатокритеріального вибору, алгоритм, харчова промисловість.



*Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор*  
*Коренець Ю. М., старший викладач*  
*Омельченко О. В., канд. техн. наук, доцент*  
*Петрушина Ю.М., здобувач ОС магістра*

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

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИТУАЦІЙ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

UDC 664:62-193, 621.565

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science, Professor*  
*Korenets Yu. M., Senior Lecturer*  
*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences, Associate Professor*  
*Petrushyna Yu. M., A graduate of a master's degree*

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

**IDENTIFICATION AND PREDICTION OF EMERGENCY TECHNOLOGICAL SITUATIONS OF COOLING SUPPLY OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**Мета.** Метою статті є розробка методів ідентифікації технологічних керованих ситуацій в роботі сучасного компресорного аміачного обладнання із системи холодозабезпечення промислового холодильника на базі штучного інтелекту.

**Методи.** У статті використано методи штучного інтелекту для розробки моделі та методів оцінки аварійних ситуацій і оптимізації надійності складних технологічних систем холодозабезпечення з аміачним компресорним обладнанням для заморожування продуктів харчування.

З метою одержання наукових результатів розроблено методика, яка забезпечує: розробку методів ідентифікації стану компресорних аміачних машин, побудову моделей причинно-наслідкових зв'язків (дерева несправностей) технологічного процесу холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника великої потужності; дослідження взаємозв'язків між технологічними параметрами працездатності, оцінку надійності та розпізнавання аварійних ситуацій; моделювання стану обладнання, яке пов'язано з параметрами надійності та працездатності компресорних машин. Методика дозволяє зменшити ризики від аварійних ситуацій холодильного аміачного обладнання, а методи їх оцінки залежать від можливості керованого впливу носіїв енергії технологічного процесу на людину (виробничі травми, професійні захворювання), навколишнє середовище (екологічні аварії і катастрофи) і впливу їх на виробничі території і населення (аварійні викиди аміаку, викиди мастильних матеріалів тощо). Методика рекомендує проєктантам при проєктуванні сучасних багаторівневих систем інтелектуального управління розробляти підсистеми безпеки життєдіяльності холодильних підприємств харчової промисловості розпочинати з визначення (ідентифікації) і контролю (моніторингу) потенційно небезпечних процесів виробництва безпечної харчової смарт-продукції, її збереження в холодильних камерах промислових холодильників. У той же час оцінку стану обладнання холодильних машин — холодопостачання холодильних камер підприємства-холодильника необхідно виконувати на основі нейрон-нечіткого методу обро-

Надійшла до редакції 15.09. 2022 р.

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

блення інформації з метою підвищення точності прогнозування і попередженого керування виникненням аварійних ситуацій, відмов елементів даної технічної системи, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій. Тобто необхідно, з одного боку, розробити систему моніторингу стану обладнання холодильних машин (холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника), а з іншого боку — здійснювати контроль часу надійної безаварійної експлуатації елементів обладнання холодильних машин, як прогнозного показника.

**Результати.** Розроблено метод ідентифікації стану холодильного обладнання промислових холодильників, що відрізняється від існуючих точністю прогнозування відмов обладнання та розпізнавання аварійних ситуацій у процесі його експлуатації. Розроблено системну модель оцінки стану компресорного обладнання холодильних машин промислового холодильника, що дозволило спроектувати інтелектуальну систему управління промисловим холодильником з підсистемами розпізнавання аварійних ситуацій, мінімізувати ризики впливу викидів аміаку та інших холодоагентів на навколишнє середовище. В інтелектуальній системі розпізнавання аварійних ситуацій в темпі з процесом виконано оцінку працездатності холодильного обладнання за допомогою розробленої структурної і параметричної ідентифікації нечіткої моделі, а також за рахунок використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж, результати якої дозволяють дослідити та встановити залежність між параметрами процесу заморожування продукції в холодильних камерах промислового холодильника і дефектами (відмовами), які є причинами виникнення аварійних ситуацій та аварій.

**Ключові слова:** надійність, аварійні ситуації, мінімізація ризиків, ідентифікація, холодозабезпечення, компресорні аміачні машини, нейронічне керування, інтелектуальна система.

**Постановка проблеми.** Придніпровський регіон України з його потужним криворізьким гірничо-металургійним комплексом працює сьогодні в умовах дотримання екологічних вимог країн ЄС до вихідної продукції та екології довкілля. У зв'язку з цим постають питання щодо створення на підприємствах регіону такого сталого екологічного середовища, яке б відповідало отриманню продукції оптимальної якості за умови врахування обмежень, пов'язаних з рівнем техногенного забруднення, зменшення викидів CO<sub>2</sub> та впливу на озоновий прошарок Землі [1]. У промисловому комплексі Придніпровського регіону з техногенними територіями працюють десятки кисневих заводів, станцій з виробництва стисненого повітря, сотні промислових холодильників великої потужності, тисячі холодильних установок на складах, в супермаркетах і продовольчих магазинах, підприємствах харчової і переробної промисловості, закладах ресторанного господарства.

Для одержання низьких температур у холодильних системах використовують фізичні процеси, які супроводжуються поглинанням теплоти. Процес отримання штучного холоду за допомогою компресорних установок виконується за допомогою холодильного агента.

Сьогодні найпоширенішими холодильними агентами є аміак, хладони та їхні суміші, вода і повітря. Тренд у використанні холодоагентів зміщується до аміаку, вуглекислого газу та насичених вуглеводів. Ось вже більше п'ятдесяти років вчені усього світу приділяють увагу вивченню впливу холодильних агентів на довкілля. Було виявлено, що фреони сприяють руйнуванню озонового прошарку Землі та спричиняють парниковий ефект. Незважаючи на те, що концентрація фреонів у атмосфері значно нижча концентрації CO<sub>2</sub>, їх ефективність по затримуванию інфрачервоного випромінювання в багато тисяч разів більша, в тому числі через значно довший період життя (наприклад, R12 — 120 років, R115 — 250 років, R11 — 60 років).

Руйнування озонового шару призводить до погіршення екологічної ситуації на території країн з високим рівнем виробництва і використання хлор-фтор-вуглеводнів (СФС), а, отже, виникла необхідність їх заборони (відбулася в червні 1990 року в Лондоні на профільній конференції) та автоматичного контролю їх впливу на навколишнє середовище.

З цієї причини для аналізу впливу використання холодильних агентів на навколишнє середовище використовують параметр TEWI (Total Equivalent Warming Impact), що носить назву сумарної еквівалентної теплової дії. Він представляє собою суму безпосереднього

потенціалу парникового ефекту в результаті емісії в атмосферу та дотичного потенціалу, викликаного емісією двоокису вуглецю в процесі виробництва електроенергії, яка необхідна для роботи холодильної установки:

$$TEWI = GWP \cdot M + \alpha \cdot B, \quad (1)$$

де  $GWP$  — потенціал глобального потепління;  $M$  — маса емісії холодильного агента в атмосферу, кг;  $\alpha$  — частка  $CO_2$ , що викидається в атмосферу при виробництві 1 кВт·год електроенергії;  $B$  — сумарна кількість електроенергії, яку використовує установка за весь період її роботи, кВт·год [2].

У процесі вивчення термодинамічних, теплофізичних, фізико-хімічних та фізіологічних властивостей холодоагентів та їх впливів на навколишнє середовище виникло питання розробки систем контролю захисту довкілля від його забруднення холодоагентами та розробки інтелектуальних систем захисту компресорного обладнання від викидів холодоагентів. Зрозуміло, що наукові дослідження, пов'язані зі зменшенням впливу на озоновий прошарок є особливо актуальними для територій з техногенним забрудненням, тому вимагають від науковців розробки обладнання з мінімізацією забруднення підприємствами довкілля.

Проблема розробки автоматизованих систем захисту довкілля регіону від його забруднення холодоагентами та  $CO_2$  тісно пов'язана з проектними рішеннями щодо розробки надійного і довговічного холодильного встаткування, а також автоматизованих систем керування компресорними установками (АСК КУ).

Введемо критерій якості локальних функцій АСК КУ:

1.  $CO_2 \rightarrow \min$ .
2.  $E_{\text{енерг}} \rightarrow \max$
3.  $TEWI \rightarrow TEWI_{\text{зад}}$

У якості критерію також можливо прийняти показник  $Y_{np}$  — час надійної експлуатації елементів компресорного обладнання холодильних машин (ХМ).

Засобами досягнення надійної експлуатації визначимо параметр ХЕ — час експлуатації, який опосередковано пов'яжемо з такими чинниками: кількість аварій та відмов, час відмов системи, фізичні характеристики технічних пристроїв агрегатів компресорних установок, ступінь зношеності,  $TEWI$ ,  $CO_2$ ,  $E_{\text{енерг}}$ , а показник  $Y_{np}$  виразимо через залежність виду:

$$Y_{np} = F(X_E, A, \varepsilon), \quad (2)$$

де  $A$  — параметри технологічного процесу виробництва холоду, холодопродуктивність, температура, вологість, контроль за надійною роботою холодоагентів ХМ, наявність попереджувальних ремонтних робіт (ППР) тощо;  $\varepsilon$  — відхилення, можливі збої, людський фактор тощо.

Таким чином, якщо спроектувати систему, що автоматично враховує ці чинники, то мінімізація аварійних ситуацій призведе до підвищення надійності і довговічності холодильного компресорного обладнання та, відповідно, до виконання критеріїв 1, 2, 3.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для більшості підприємств харчової промисловості України промислові холодильники забезпечують безпеку продуктів харчування за рахунок впровадження інтелектуальних систем автоматизованого керування технологічними процесами заморожування.

Принцип їх дії базуються на створенні підсистем керування промисловою безпекою й охороною праці, основним критерієм ефективної роботи яких є оцінка і керування технологічними ризиками.

Технологічний ризик, відповідно до визначення авторів [2, 3, 4], — є кількісною мірою небезпеки, що характеризується можливістю виникнення небажаних подій на виробничому об'єкті і оцінка вартості їх наслідків.

Термін «ризик» об'єднує два поняття: «поява небезпеки» і «втрата потужності внаслідок появи даної небезпеки». Розрахунок відповідних величини відбувається для ризиків,

пов'язаних, як з ідентифікацією й оцінкою небезпеки (прогноз події), так і з оцінкою прогнозних втрат (наслідок події).

Небезпека є ймовірною категорією, яка може змінюватись у просторі і за часом. Під характеристикою небезпеки, пов'язаної з конкретною подією (аварією, аварійною ситуацією), розуміють ймовірність прояву цієї події (відмови, аварії, небезпечного випадку, інциденту) в даному місці і в заданий час.

З точки зору концепції безпеки стан обладнання промислових холодильників (ПРХ) щодо оцінки рівня безпеки і визначення її критеріїв вивчають з різних позицій — надійності системи та стійкості системи до впливів зовнішнього середовища [5, 6].

Під «надійністю», відповідно до [5, 6], розуміють властивість готовності технологічного обладнання і діючих на нього властивостей безвідмовності і ремонтпридатності та підтримування технічного обслуговування.

У зв'язку з тим, що холодильне обладнання ПРХ піддається фізичному зношенню і експлуатується з нормативним терміном відпрацювання [5, 6, 7, 8, 9], найбільш цінним критерієм безпеки таких технічних систем є показник «довговічності». Довговічність — це властивість холодильного обладнання виконувати необхідну функцію до досягнення межового стану за даних умов його використання і технічного обслуговування.

Отже, з точки зору оцінки безпеки аміачних компресорних ХМ, найбільш цінним показником є критерій довговічності.

З метою оцінки надійності обладнання промислових холодильників виокремимо час від початку експлуатації об'єкта системи до його переходу в небезпечний стан (відмова або аварійний стан системи в цілому) [5, 6].

На основі вивчення наукових праць вітчизняних вчених [1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11] створено базу знань та базу прецедентів щодо виникнення аварій, аварійних ситуацій холодильного компресорного обладнання в процесі його експлуатації. Авторами статей [10, 11] побудовано моделі причино-наслідкових зв'язків для кожного із виділених кластерів ПРХ: Компресор — Електрообладнання — Конденсатор — Насоси — Холодоносії — Випарники холодильних камер. Це дозволило їм розробити алгоритми та побудувати систему керування холодопостачанням холодильних камер промислових холодильників.

**Метою статті** є розробка методів ідентифікації технологічних керованих ситуацій в роботі сучасного компресорного аміачного обладнання із системи холодозабезпечення промислового холодильника на базі штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу. Розрахунок показників надійності холодильних систем будемо виконувати за допомогою методів математичної статистики та теорії ймовірності [5, 12].

У теорії надійності за випадкову величину (ВВ) приймають час (t) роботи елементів системи. Тоді функція щільності розподілу  $f(t)$  (диференційний закон розподілу) слугує характеристикою розсіювання строків служби, характеризує частоту відмови обладнання ХМ [12, 13].

$$f(t) = \frac{(dH(t))}{dt} = \frac{(dP(t))}{dt}, \quad (3)$$

де

$$H(t) = p(T < t)$$

де  $H(t) = \int_0^t f(t)dt$  — інтегральна функція розподілення характеризує ймовірність відмови до заданого моменту часу.

Кількісно оцінити надійність елементів технічних систем промислових холодильників (ПРХ) можна за допомогою критеріїв надійності: ймовірності безвідмовної роботи протягом визначеного часу  $P(t)$  або зворотної їй величини — ймовірності відмови  $H(t)$ ; частоти відмов  $f(t)$ ; інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ . Для об'єктів, які відновлюються — напра-



цювання на відмову  $t_{cp}$ , параметру потоку відмов  $\omega(t)$ , середнього напрацювання до першої відмови  $T_{cp}$ .

Випадкові величини (ВВ) можуть бути дискретними (ДВВ), що характеризуватимуться переривчастим розподіленням (число відмов, число об'єктів з відмовами за певний час та ін.), або неперервними (НВВ) (термін служби, час простою та ін.).

Для ДВВ використовують такі закони розподілення, як закон Пуасона-Бернуллі, розподілення Паскаля, геометричний, біноміальний, вироджений і логарифмічний розподіл.

Для НВВ — нормальний, рівномірний, експоненційний, логарифмічний розподіл, а також трикутний, гама-розподілення, розподілення Вейбула, Ст'юдента, Коші, Парето [5, 6, 12].

З метою проектування сучасних «розумних» підприємств-промислових холодильників (ПРХ) з високим рівнем надійності забезпечення якості заморожування м'ясної продукції до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , рибної продукції до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , м'яса птиці до  $-8\text{...}-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , охолодження до  $0\text{...}-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  напівфабрикатів, молочно-жирової продукції, гастрономічних товарів, плодово-овочевої продукції, зелені тощо, необхідно виконати наступні дослідження:

1. Провести аналіз існуючого рівня безпеки, часу до відмови обладнання холодильних машин (ХМ) — холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника, системний аналіз технічної системи обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ та визначити вимоги до системи оцінки рівня безпеки обладнання ПРХ.

2. Побудувати системну модель оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ та розробити математичну модель оцінки стану обладнання ПРХ з урахуванням параметрів заморожування та охолодження продуктів харчування з використанням апарату теорії нечіткої логіки.

3. Розробити інтелектуальну систему прогнозування аварійних ситуацій, а також аварій з системами підтримки прийняття рішень та оцінки ризиків від викидів холодоагентів у реальному масштабі часу.

Отже, в процесі виконання проектних рішень щодо розробки «розумних» (смарт) підприємств ПРХ у відповідності до завдань програми «Індустрія — 4.0», необхідно спочатку розробити математичну модель стану обладнання ХМ. Вона повинна відрізнитись від існуючих особливістю побудови на основі оброблення інформації про технологічний процес холодозабезпечення з використанням апарату нечіткої логіки. Для цього визначимо вимоги до математичного забезпечення системи оцінки стану обладнання ХМ та системи холодозабезпечення ПРХ.

На основі аналізу умов виникнення і процесу розвитку відмов в технічній системі «ХМ — система холодозабезпечення холодильних камер» необхідно також розробити методи управління захистом від втрат холодоагенту.

Основним етапом прогнозування рівня безпечного стану обладнання ХМ являється виявлення впливу поведінки того чи іншого параметру робочого процесу холодопостачання на зношення технічної системи, що призводить до відмови. Як показала практика експлуатації ХМ, зовнішні вражаючі впливи на один із елементів системи холодопостачання обов'язково буде впливати певним чином на показники надійності елементів і всієї системи в цілому [5].

Цю задачу будемо вирішувати шляхом експертних оцінок, способів оброблення нечіткої інформації з використанням нечіткої логіки та нейронних мереж. Як було доведено в наукових статтях та монографіях авторів [13, 14, 15, 16], математична теорія нечітких множин (нечіткої логіки) — теорія, яка математично оперує із змістовим сенсом слів людини-оператора, дозволяє описувати нечіткі поняття та знання, оперувати цими знаннями і робити нечіткі висновки. Наявність математичних засобів відбиття нечіткої вхідної інформації дозволяє побудувати модель оцінки обладнання ХМ системи холодопостачання ПРХ.

Якщо в якості критерію прийняти показник  $Y_{пр}$  — час надійної експлуатації елементів обладнання ХМ, а засобами її досягнення  $X_E$  — час експлуатації, час відмови системи, кількість аварій та відмов, фізичні характеристики технічних пристроїв агрегатів компре-

сорних машин, ступень зношеності, корозії, то тоді показник  $Y_{np}$  можна виразити через залежність виду:

$$Y_{np} = F(X_E, A, \varepsilon), \quad (4)$$

де  $A$  — параметри технологічного процесу виробництва холоду: холодопродуктивність, температура, вологість, контроль за надійною роботою холодоагентів ХМ, наявність попереджувальних ремонтних робіт (ППР) тощо;  $\varepsilon$  — відхилення, можливі збої, людський фактор тощо.

З метою ідентифікації ситуацій безпеки та аварій спочатку відзначимо особливості об'єкта керування холодозабезпеченням холодильних камер ПРХ: ХМ з точки зору вимог до математичного забезпечення; складність і високу структурованість технічної системи обладнання ХМ; відсутність даних обліку ступеня старіння, зношеності елементів технічної системи обладнання ХМ (прогнозування умов і час появи відмови об'єкта); невизначеність і нечіткість інформації при розрахунку вхідних складових (історія експлуатації обладнання ХМ, аварійні простої, ремонтний період, період експлуатації, одержані пошкодження); робота ХМ у режимі реального часу.

В умовах різних режимів роботи та експлуатації ХМ розроблена модель повинна мати здібність до навчання шляхом ідентифікації її параметрів і структурних елементів.

Так як ми маємо великий об'єм інформації, що спотворена перепонами і погрішностями вимірювання технологічних параметрів холодопостачання, то необхідна самоорганізація даних для виявлення в них областей (кластерів), які спричинюють відмови в роботі та викликають неполадки технологічного обладнання [11, 13, 14].

У процесі самоорганізації даних системи обладнання ХМ необхідно:

- виділити ті зміни і області значень (кластери), які тісно пов'язані з відмовами в роботі, пошкодження технологічного обладнання;
- визначити центри кластерів і використати їх для налагодження нечіткої моделі.

Математичне забезпечення системи оцінки стану обладнання ХМ, показників його безпеки повинно бути побудовано з урахуванням перерахованих вище особливостей функціонування компресорних холодильних машин.

Для розробки нечіткої моделі прогнозування рівня безпеки системи обладнання ХМ необхідно описати ситуацію пошуку несправностей, яка зв'яже множину передумов відновлення ХЕ і множину появи відмов  $Y_{np}$ . Множину  $X_E$  будемо виявляти на основі оброблення інформації про параметри технологічного процесу і подій на обладнанні ХМ та системи холодопостачання.

Вхідна інформація надходить від інформаційної системи АСУ-АСУТП холодильника — підприємства (верхній і середній рівень АСУТП — локальні системи керування ХМ) у вигляді станів обладнання — кластери: «Компресор», «Конденсатор», «Випарник», «Камери-контейнери», «Холодопостачання», «Холодильне поле камер-контейнерів», «Витрати холодильного агента», «Витрати води, повітря, електрики». Ці дані надходять для збігання на сервер бази даних. У табл. 1 наведена інформація про параметри технологічного процесу холодопостачання ХМ промислового холодильника.

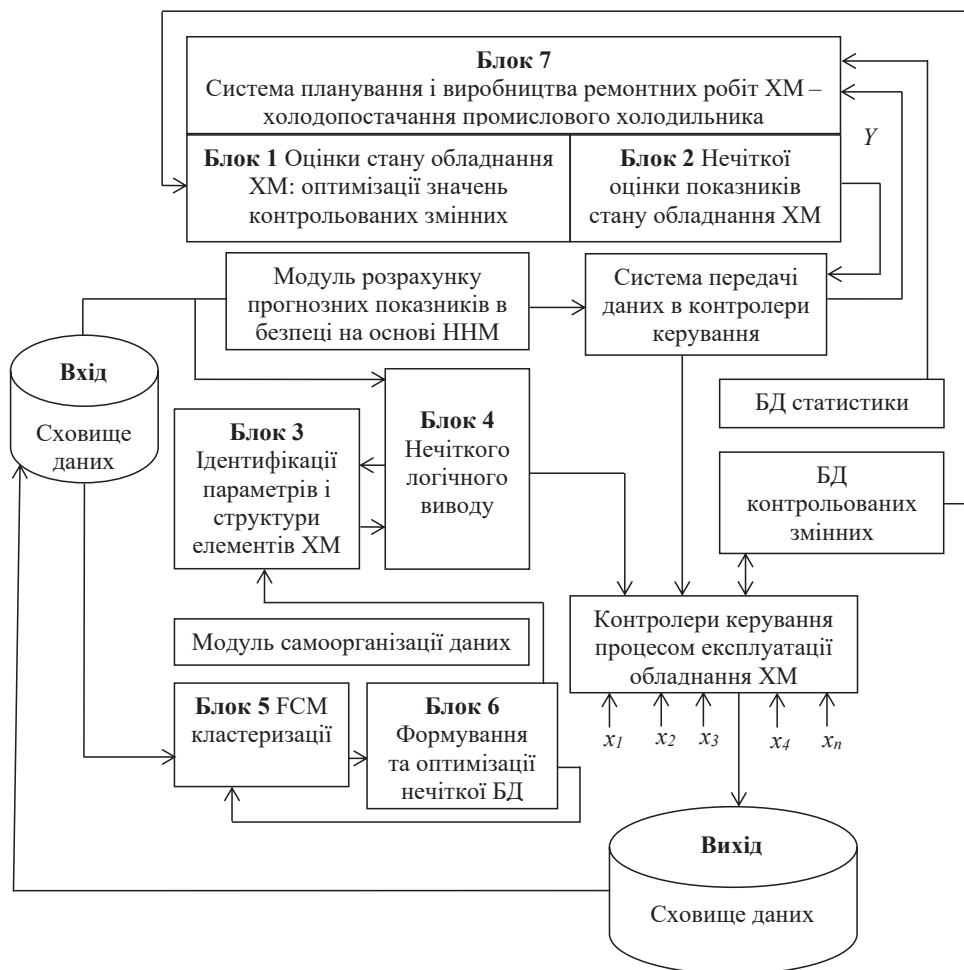
На рис. 1 наведено системну модель оцінки компресорного обладнання ХМ — холодозабезпечення промислового холодильника.

На функціональній схемі представлені такі блоки:

- модуль розрахунку прогнозних показників на основі НМ (ресурс роботи ХМ, зношення);
- Блок 1 — оцінки стану обладнання ХМ, оптимізації значень контрольованих змінних;
- Блок 2 — нечіткої оцінки показників стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ;
- Блок 3 — ідентифікації параметрів та структури елементів ХМ;
- Блок 4 — нечіткого логічного виводу;
- Блок 5 — оптимізації ТП на основі нечіткої (FCM) кластеризації.

**Таблиця 1** — Інформація про параметри технологічного процесу холодопостачання

Інформація надається постійно в процесі холодопостачання камер-контейнерів підприємства-холодильника	Інформація надається на АРМ диспетчера-оператора один раз за зміну
<p>1. Холодопродуктивність.                  2. Холодильне поле кожної камери-контейнера.                  3. Енергетичні характеристики та температурні режими компресорів машинної зали.                  4. Стан системи контролю холодильного агента.                  5. Стан системи випарників і конденсаторів.                  6. Відповідні показники температурних параметрів камер для зберігання:                  1) м'яса рогатої худоби, свиней в формі туш, напівтуш, четвєртин;                  2) риби;                  3) птиці тощо.                  Інформація надається на АРМ холодильщика у вигляді строки бази даних із робочої станції оброблення даних ХМ — холодопостачання промислового холодильника.                  7. Параметри камер-холодильників. Дані про геометричні параметри та властивості продуктів харчування (робочі характеристики заморожування, охолодження).</p>	<p>1. Тип продукції.                  2. Вимірювання температури в камерах зберігання м'ясних продуктів.                  3. Вимірювання якості продукції в процесі її надходження в камеру.                  4. Оптимальні режими роботи системи заморожування/охолодження продуктів.                  5. Стійкість обладнання ХМ — холодопостачання промислового холодильника.                  6. Дані про витрати електрики, холодильного агента, води, повітря тощо.                  7. Дані про зупинку обладнання, параметри завантаження-розвантаження камер.                  8. Дані про можливі дефекти обладнання і фактичну якість продукції. Планування вагомості технологічних параметрів заморожування/охолодження.</p>



**Рисунок 1** — Системна модель оцінки обладнання холодильних машин холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника

Робота цих блоків виконується паралельно. Блок оптимізації формує дані для навчання НМ блока розрахунків. Цей набір даних формується на основі оптимізації ретроспективних даних за час експлуатації ХМ. Адекватність одержаних результатів перевіряється на імітаційній моделі. Нечітка модель, навчена за допомогою одержаних даних, дозволяє визначити/встановити безпечний режим експлуатації компресорного обладнання ХМ системи холодопостачання холодильного підприємства та фактичні терміни експлуатації до відмови системи.

У той же час оцінку стану обладнання ХМ — холодопостачання холодильних камер підприємства-холодильника необхідно виконувати на основі нейрон-нечіткого методу (ННМ) оброблення інформації з метою підвищення точності прогнозування і попереджувального керування виникненням аварійних ситуацій, відмов елементів даної технічної системи, що призводять до виникнення аварій. Тобто необхідно, з одного боку, розробити систему моніторингу стану обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер ПРХ, а з іншого боку — контролювати, як прогнозний показник, час надійної безаварійної експлуатації елементів обладнання ХМ. Такий підхід дозволить проєктантам побудувати: системну модель оцінки стану обладнання ХМ промислового холодильника; структурну модель оцінки стану обладнання ХМ; алгоритм оцінки стану обладнання ХМ — холодозабезпечення промислового холодильника; алгоритм прийняття рішення ОПР (диспетчера-холодильщика) щодо експлуатації обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника.

Перераховані вище алгоритми внесені до блоку 7 — системи планування і виробництва ремонтних робіт ХМ — холодозабезпечення ПРХ, який взаємодіє з системою передачі даних у контролери керування ТП виробництва штучного холоду.

Якщо в якості показника надійності обладнання ХМ холодопостачання ПРХ і їх елементів визначити критерії безвідмовності ( $Y_{np}$ , %) і критерій довговічності ( $I$ , %), то тоді ми можемо ввести наступні стани обладнання ПРХ: поладжений стан,  $I \rightarrow$  пошкодження  $\rightarrow$  неполаджений, але працездатний стан,  $Y_{np} \rightarrow$  відмова  $\rightarrow$  непрацездатний стан,  $Y_{непр}$ .

Якщо пошкодження, то є неполаджений стан, але працездатний. У нашому випадку (рис. 1) стан системи обладнання — холодопостачання ПРХ визначається за допомогою блоку 1, в якому виконується оптимізація значень контрольованих змінних, які надходять із бази даних. На вхід даного блоку подаються параметри робочого процесу і робочі характеристики ХМ (час експлуатації, параметри технічного паспорту обладнання). Наприклад, для компресорних агрегатів такими чинниками можуть бути: холодопродуктивність, температура холодопостачання на вході та виході, час роботи агрегату тощо.

На вхід блоку 2 надходять сигнали наступних змінних: термін експлуатації ХМ після останнього ремонту ( $Tr$ ); кількість незапланованих зупинок агрегатів або їх ремонтів ( $N_{зуп}$ ); результати оцінки параметрів процесу із блоку 1 ( $I$ ). Вихід блоку 2 — показник  $Y$ , % надійності компонента системи обладнання ХМ — холодозабезпечення ПРХ.

З точки зору побудови математичної моделі оцінки стану обладнання ХМ — холодозабезпечення ПРХ і оцінки процесу виникнення відмови елементів технічної системи та його обладнання, необхідно уявити її вихідні змінні ( $Y_k, Y_{km}$ ), як показники стану обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер ПРХ. Останні визначають рівень надійності елементів:  $k$  — рівень технологічних об'єктів (підмоделі),  $m$  — рівень компресорних машин і механізмів (елементи підмоделей).

Статичну модель представимо у вигляді наступної залежності:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (5)$$

де  $x_i$  — вхідні змінні (фактори), які суттєво впливають на стан обладнання;  $m$  — кількість факторів;  $Y$  — показник стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ (критерій безвідмовності).

Оцінку стану обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер ПРХ будемо виконувати шляхом оброблення інформації про вхідні параметри  $x_i$  ( $i$  — кількість змінних) за допомогою апарата нечіткої логіки (блоки 4, 5, 6).

Інформація у вигляді лінгвістичних змінних щодо розробки нечіткої бази знань наведена в таблиці 2.



**Таблиця 2** — Інформація у вигляді лінгвістичних змінних для розробки нечіткої бази знань оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ

Вхідні змінні, $x_i$ ( $i$ — кількість змінних) $k$ — рівень технологічних об'єктів		Вихідні змінні — показник стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ, $Y_{kn}$		
		$n$ — рівень машин і механізмів		
$x_1$	Термін експлуатації ( $T_{ек}$ )	Блок 1 $Y_1$ — холодильна машина	$y_{11}$	Холодильна машина — компресор
$x_2$	Кількість позапланових зупинок, ремонтів ( $N_3$ )	Блок 1 $Y_1$ — холодильна машина Блок 2 $Y_2$ — система керування ХМ	$y_{12}$	Електродвигун — тиристорний перетворювач частоти
$x_3$	Критерій довговічності (I)		$y_{13}$	Холодопродуктивність компресора
$x_{31}$	Стан системи ХМ: витрати холодильного агента		$y_{14}$	Температура холодильного агента
$x_{32}$	Робота компресора: потужність активна, реактивна		$y_{15}$	Тиск конденсації, температура охолодженого середовища
$x_{32}$ $x_{33}$	Робота компресора: потужність активна, реактивна Температура на виході компресора	$y_{16}$	Температура холодоносія на виході із випарника, температура кипіння	
		$y_{21}$	Положення регулюючого вентиля — температура — холодопродуктивність	
$x_{34}$	Холодопродуктивність	Блок 2 $Y_2$ — система керування ХМ Блок 3 $Y_3$ — холодопостачання фенкойлів	$y_{22}$	Витрати холодильного агента, питомі витрати електрики
$x_{35}$	Тип холодильного агента		$y_{23}$	Витрати води
$x_{36}$	Заміри температури ХМ у процесі холодопостачання		$y_{31}$	Продуктивність випарника-чілера
$x_{37}$	Рівень мастила	Блок 3 $Y_3$ — холодопостачання фенкойлів	$y_{32}$	Продуктивність циркуляційного насосу
$x_{311}$	Час заморожування / тривалість охолодження	Блок 4 $Y_4$ — холодопостачання камер ПРХ	$y_{41}$	Температура у камерах контейнера
$x_{312}$	Густина охолодженого продукту	Блок 4 $Y_4$ — холодопостачання камер ПРХ $Y_5$ — види технічних пристроїв	$y_{42}$	Температура продукту, його геометрія
$x_{313}$	Теплопровідність замороженого продукту		$y_{43}$	Вологість
$x_{314}$	Продуктивність холодильної камери ПРХ		$y_{51}$	Пристрої АСУ-АСУТП протиаварійного захисту
$x_{315}$	Дані про наявність дефектів у процесі охолодження / заморожування туші	$Y_5$ — види технічних пристроїв	$y_{52}$	Електрообладнання ХМ, АД-ТПЧ
$x_{316}$	Холодильне поле камери ПРХ		$y_{53}$	Динамічне обладнання автоматики контролю
$x_{317}$	Дані про геометрію ( $\Phi$ ) туші (півтуші, четвертини) ВРХ		$y_{54}$	Опорні системи (вузли, рами контейнерів)

Побудову нечіткої моделі оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ для моделі (рис. 2) зведено до таких етапів: визначення структури, завдання нечітких множин, завдання функцій належності, вибору алгоритму розрахунку нечіткого введення.

Модель оцінки стану ХМ — холодозабезпечення холодильних камер ПРХ поділена на чотири підмоделі за критерієм  $Y$  — показник стану обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер — контейнерів промислового холодильника (критерій безвідмовності, %):

$Y_1$  — модель 1 холодильної машини ( $Y_{11}$  — компресор;  $Y_{12}$  — електродвигун — тиристорний перетворювач компресора;  $Y_{13}$  — холодопродуктивність компресору;  $Y_{14}$  — температура холодильного агенту;  $Y_{15}$  — тиск конденсації та температура охолодженого середовища;  $Y_{16}$  — температура холодоносія на виході із випарника та температура кипіння);

$Y_2$  — модель системи керування ХМ ( $Y_{21}$  — положення системи регулюючий вентиль — температура, холодопродуктивність;  $Y_{22}$  — витрати холодильного агенту);

$T_p$  — термін експлуатації ХМ після останнього ремонту;

$N_z$  — кількість непланових зупинок компресорного обладнання, обладнання контролю параметрів холодоагентів;

$X_m$  — фактори впливу, які необхідні для розрахунку критерію довговічності (Ід, %)

$Y_3$  — модель холодопостачання фенкойлів ( $Y_{31}$  — продуктивність випарника чілера;  $Y_{32}$  — продуктивність циркуляційного насоса);

$Y_4$  — модель холодопостачання  $N_i$  ( $i, 2, \dots, n$ ) камер контейнерів ( $Y_{41}$  — температура у холодильних камерах контейнеру,  $Y_{42}$  — температура продукту,  $Y_{43}$  — вологість).

На рисунку 2 наведено структуру моделі оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ, а інформація у вигляді лінгвістичних змінних наведена в таблиці 2. Система відношень, яка відповідає структурі моделі оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ, має наступний вигляд:

$$Y = \prod Y_k = Y_1 \& Y_2 \& Y_3 \& Y_4, Y_k = \prod Y_{kn}, \quad (6)$$

$Y_{kn} = f(x)$ , тому що алгебраїчний добуток (І) зберігає безперервність нечіткої моделі відносно параметрів функцій належності.

Кожна модель ( $Y_k$ ) виконує розрахунок показників надійності елементів, які відносяться до неї ( $Y_{kn}$ ), на основі сукупності технологічних параметрів виробництва холоду та холодозабезпечення ПРХ і статистичних даних про відмови вузлів компресорів, випарників, конденсаторів тощо.

Механізм відбору інформації для оцінки надійності роботи ХМ — холодопостачання холодильних камер є ідентичним раніш розглянутому, але він може відрізнитись набором контролерів у зв'язку з різною структурою схем обробки інформації для кожного продукту харчування [11, 12].

У нашому випадку з метою підвищення ролі інформаційного забезпечення системи керування холодозабезпеченням холодильними камерами промислового холодильника та підвищення безпеки продукції (замороженої, охолодженої) необхідно також побудувати логічні схеми оброблення інформації для оцінки критерію довговічності (І, %) компресорів  $K_{c1,2}$ , конденсаторів  $K_{n1,2}$ , насосів  $N_{1,2}$ , випарників  $V_{1,2}$ , електрообладнання, пристроїв АСУ-АСУТП тощо.

Вхідні параметри нечіткої моделі оцінки стану обладнання (МОСО) ХМ — холодозабезпечення холодильних камер промислового холодильника за допомогою фазифікації представлені у вигляді лінгвістичних змінних  $X$ , які задані на універсальних множинах за допомогою терм-множини  $T_i$ . Вони характеризуються функціями належності  $X_j^\theta(x_i)$  ( $j$  — кількість термів лінгвістичних змінних).

Кожна функція належності  $X_j^\theta(x_i)$  для лінгвістичних змінних  $X$  оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ має наступні характеристики [12, 13, 14]:

— множину рівня 1, яку будемо називати ядром нечіткої множини  $X$ , яку позначимо у вигляді:

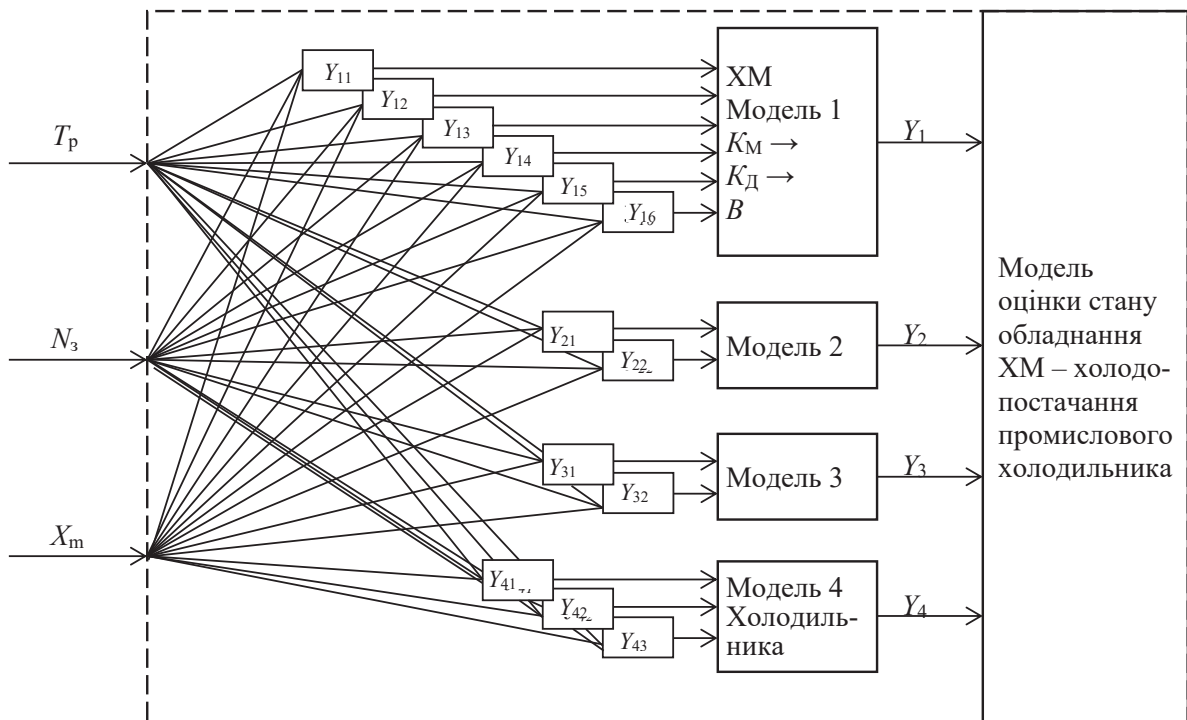


Рисунок 2 — Структура моделі оцінки стану обладнання ХМ – холодопостачання ПРХ

$$X^0; X^0 = \{x \in X | X(x) = 1\}; \tag{7}$$

— множину рівня 0, яку будемо називати носієм нечіткої множини X, яку позначимо:

$$X_0; X_0 = \{x \in X | X(x) > 0\}. \tag{8}$$

Якщо нечітка множина змінних  $x_i$  має порядковий номер  $i = 1, 2, \dots$  наприклад,  $x_{i1}$ , то його носій і його ядро записується у вигляді:

$$X_j = \{x_i \in X_i | X_j(x_i) > 0\},$$

$$X_i = \{x_i | x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}\}, \tag{9}$$

де  $x_i^{\min}$ ,  $x_i^{\max}$  — мінімальне і максимальне значення змінної  $x_i$ .

Для лінгвістичної змінної оцінки стану обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер ПРХ  $\langle x, T_x, X \rangle$  визначимо терм-множину  $T_x = \{X_2\}$  з  $i = 1, n$  термами, пронумерованими еталонними нечіткими множинами від 1 до  $n$ .

Будемо вважати, що універсальна множина  $XER$ , де  $R$  — вісь дійсних чисел. Множина  $T_x$  повинна бути упорядкована у відповідності з виразом:

$$(\forall X_i \in T_x) (\forall X_j \in T_x) |i > j \leftrightarrow (\exists x' \in x_{0i}) (\forall x'' \in x_{0j}) (x' > x'') \tag{10}$$

який означає, що терм, який має носій і розташований ліворуч, одержує менший номер.

Виходячи із визначення і ознак лінгвістичної змінної оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ, її функція належності повинна задовольняти наступним умовам:

$$\begin{aligned} X_1(x) &= 1, \text{ якщо } x < x^1; \\ X_1(x) &\in [0, 1], \text{ якщо } x > x^1; \\ X_q(x) &\in [0, 1], \text{ якщо } x < x^q; \\ X_q(x) &= 1, \text{ якщо } x > x^q \end{aligned} \tag{11}$$

де  $x^j = \operatorname{argmax} X_j(x); i = 1, q; x \in X_{0i}$ .

$$(\forall X_i \in T_x) \exists 0 \max(X_i(x) \wedge X_{i+1}(x) = 1), \quad (12)$$

$$(\forall X_i \in T_x) \exists x \in X (X_j(x) = 1). \quad (13)$$

Лінгвістичні змінні та терм-множина підмоделей оцінки критерію довговічності (I, %) компресорів № 1, № 2, ..., № n, станцій, конденсаторів, які працюють на холодозабезпечення морозильних камер з м'ясом туш (напівтуш, четвертин) великої рогатої худоби (ВРХ) наведені в таблиці 3.

**Таблиця 3** — Лінгвістичні змінні та нечіткі множини для оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ

Позначення змінної	Назва змінної	Універсальна множина	Терм-множина для оцінок
Для компресорів каскаду ХМ			
$T_{зм}$	Температура кипіння	-40...-50 °С	Низька, середня, висока
$V_{х.а.}$	Масові витрати холодильного агенту	кг/с	Низькі, середні, високі
$Q_{х.п.км.}$	Холодопродуктивність КМ	кДж/кг	Низька, середня, висока
$Q_{х.п.в.}$	Холодопродуктивність випарника (В)	кВт	Низька, середня, висока
D	Критерій накопичення пошкоджень	0 — 100%	Низька, середня, висока
$D_2$	Скоригований критерій накопичення пошкоджень	0 — 100%	Низька, середня, висока
I	Критерій довговічності	0 — 100%	Дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока
Для конденсатора			
$Q_{т.кн}$	Теплопродуктивність конденсатора	кВт	Низька, середня, висока
$t_{кн1}, t_{кн2}$	Температура води на вході і виході конденсатора	°С	Норма, нижче норми, вище норми
$I_{тп}$	Інтенсивність теплопередачі	на 1°С	Низька, середня, висока
$D_{кн}$	Критерій накопичення пошкоджень	0 — 100%	Низький, середній, високий
$I_{кн}$	Критерій довговічності конденсатора	0 — 100%	Дуже низький, низький, середній, високий, дуже високий
Для холодильних камер заморожування			
$\tau_o, \tau_{кз}$	Тривалість охолодження, час заморожування	с	Висока, середня, низька
$\rho$	Густина охолодженого продукту	кг/м <sup>3</sup>	Висока, середня, низька
$\lambda$	Теплопровідність замороженого продукту	Вт(м·к)	Висока, середня, низька
$\Phi_{т.п.}$	Форма туші, її геометрія	м <sup>2</sup>	Стандартна, близька до стандарту, нестандартна



Позначення змінної	Назва змінної	Універсальна множина	Терм-множина для оцінок
$D_{кз}$	Критерій накопичення пошкоджень	0 — 100%	Низька, середня, висока
$I_{кз}$	Критерій довговічності камери заморожування	0 — 100%	Дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока

У зв'язку з незначним об'ємом інформації про особливості функцій належності нечітких змінних при побудові нечіткої моделі конкретного холодильного обладнання ПРХ використовуємо шматочно-лінійні функції сигмоїдального виду [13, 14, 15]. У подальшому їх характер може бути уточнено, особливо на етапі ідентифікації нечіткої моделі.

Для оцінки обладнання ХМ — холодозабезпечення холодильних камер ПРХ використовуються такі терми:

VL — дуже високий рівень значення змінної;

L — низький рівень значення змінної;

M — середній рівень значення змінної;

H — високий рівень значення змінної;

VH — дуже високий рівень значення змінної.

Високу ефективність в задачах прогнозування технологічних процесів показала нечітка модель, у правій частині якої знаходиться лінійне рівняння, побудоване на базі нечітких моделей Тагакі-Сугено [13, 14, 15, 16]. Така модель відноситься до гарно вивченого класу моделей, які успішно використовуються з урахуванням та використанням великої кількості даних і не чутлива до завад і погрешностей вимірювання за рахунок усереднених механізмів виводу у.

Для цілей оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ запишемо її у вигляді:

$$R^{\theta}: \text{якщо } x_1 \in X_1^{\theta}, x_2 \in X_2^{\theta}, \dots, x_m \in X_m^{\theta},$$

то

$$y = a_0^{\theta} + a_1^{\theta} x_1 + a_2^{\theta} x_2 + \dots + a_m^{\theta} x_m \in Y_{\theta}, \quad (14)$$

де  $X_m^{\theta}$  — нечітка множина, яка характеризує вхідні змінні  $x_i$ ;  $i = 1, m$  — кількість змінних;  $\theta = 1, n$  — кількість правил;  $y^{\theta}, Y^{\theta}$  — вихідні змінні  $\theta$ -го порядку і відповіді нечіткої множини (показник стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ);  $a$  — коефіцієнти лінійних рівнянь консеквентна агрегування правил оцінки стану обладнання ХМ — холодопостачання ПРХ, виконаної в нечіткій базі знань.

У нашому випадку база знань (БЗ) для оцінки стану системи в цілому складає 3808 правил. Нечітка імплікація правил в базі знань має такий вигляд:

$$\bigcup^n (\bigcap^m x_i = X_j^{\theta}(x_i, d^{\theta}) \rightarrow y_L = Y_i). \quad (15)$$

Правила в нечіткій базі знань для оцінки критерію накопичення пошкоджень  $D$  в системі компресор-випарник-конденсатор-камера по схемі Мамдані сформульовані наступним чином [13, 14]:

1. Якщо холодопродуктивність ХМ номінальна, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ відповідають номінальним значенням, то значення критерію накопичення пошкоджень дуже низьке.

2. Якщо холодопродуктивність ХМ номінальна, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ теж близьке до раціонального, то значення критерію накопичення пошкоджень низьке.

3. Якщо холодопродуктивність ХМ номінальна, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ нижче раціонального, то значення критерію накопичення пошкоджень середнє.

4. Якщо холодопродуктивність ХМ середня, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ відповідають номінальним значенням, то значення критерію накопичення пошкоджень низьке.

5. Якщо холодопродуктивність ХМ середня, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ відповідають середнім значенням, то значення критерію накопичення пошкоджень середнє.

6. Якщо холодопродуктивність ХМ середня, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ відповідають низьким значенням, то значення критерію накопичення пошкоджень високе.

7. Якщо холодопродуктивність ХМ низька, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ відповідають високим значенням, то значення критерію накопичення пошкоджень середнє.

8. Якщо холодопродуктивність ХМ низька, а навантаження на камерне обладнання для кожної камери ПРХ середнє, то значення критерію накопичення пошкоджень високе.

У таблиці 4 наведена база знань для D уявлення у вигляді матриці знань.

**Таблиця 4** — Матриця знань для оцінки критерію накопичення пошкоджень (D)

$\tau_{кз}$ $Q$	$L$	$M$	$H$
$L$	$VH$	$H$	$M$
$M$	$H$	$M$	$L$
$H$	$M$	$L$	$VL$

Аналогічно проведемо корекцію накопичення пошкоджень  $D_{кз}$  камери заморожування м'яса ВРХ відносно температури заморожування  $T_{кз}$  і тривалості охолодження  $\tau_0$  (часу заморожування  $\tau_{кз}$ ) і розрахунку критерію довговічності та параметрів холодозабезпечення камер ПРХ.

Для цього необхідно також побудувати спочатку правила нечіткої бази знань (БЗ) для оцінки критерію часу заморожуванням м'ясних продуктів, потім нечітку базу знань для оцінки критерію довговічності компресорних установок ХМ та конденсатора-випарника.

Розрахунок виходу  $Y^0$  в  $\theta$ -му правилі виконується за допомогою лінійного рівняння виду:

$$Y^0 = a_0^0 + a_1^0 x_1 + a_2^0 x_2 + \dots + a_n^0 x_n. \quad (16)$$

Тоді нечітка модель оцінки стану обладнання ХМ — холодозабезпечення ПРХ буде записана в загальному вигляді рівнянням виду:

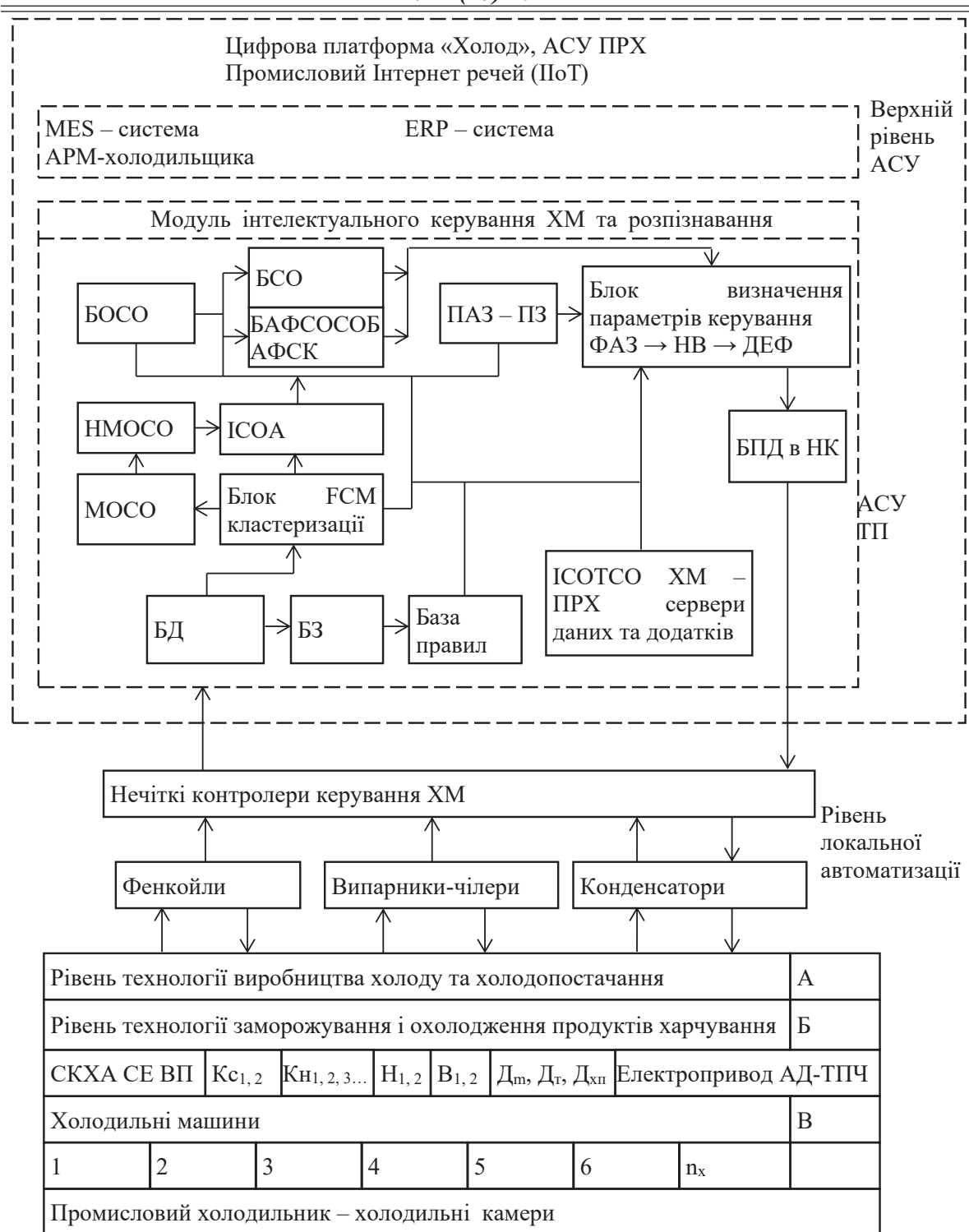
$$\bigcup_{j=1}^{k_j} (\bigcap_{i=1}^n x_i = x_{i,p}) \rightarrow Y = a_{j,0} + a_{j,1} x_1 + a_{j,2} x_2 + \dots + a_{j,n} x_n, j = 1, m. \quad (17)$$

Розглянемо структуру дефазифікації (ДЕФ) і нечіткого виведення (НВ) для запропонованої моделі (17).

Для реалізації нечіткого логічного виведення запропонованої моделі оцінки стану обладнання ХМ — холодозабезпечення камер ПРХ будемо використовувати нейрон-нечіткі мережі, які дозволяють автоматично синтезувати вхідні дані, оскільки архітектура нейрон-нечіткої мережі ізоморфна нечіткій базі знань [12, 13, 14, 15].

Процедуру перетворення Fuz (Fuzzyfication) (ФАЗ) дійсного значення  $x^0$  змінної  $x$  в лінгвістичне  $X'$ , нечіткого виведення FI (FuzzyInference) (НВ) лінгвістичного виведення  $Y'$  по відомому входу  $X'$  і сукупності правил  $R = \{R^1, \dots, R^m\}$ , а також перетворення Def (Defuzzyfication) (ДЕФ) лінгвістичного значення виходу  $Y'$  в дійсне  $y^0$ , виконано за допомогою процедур, наведених в [13, 14, 15, 16].

Перейдемо до розробки багаторівневої інтелектуальної системи керування технологічним процесом заморожування м'ясної продукції в холодильних камерах промислового холодильника. На рис. 3 наведено інтелектуальну систему управління промисловим холодильником великої потужності для зберігання заморожених м'ясних продуктів.



**Рисунок 3** – Інтелектуальна система керування ХМ – холодозабезпечення ХК смарт-ПРХ

Відмінною рисою таких систем є наявність підсистем прогнозування та розпізнавання аварійних ситуацій (АС), аварій (А), які працюють в реальному масштабі часу.

У системі передбачено три рівні керування:

1. АСК з цифровою платформою «Холод», промисловим Інтернет-речей, ERP-системами керування потоками грошей та MES-системами оперативного керування технологічним процесом заморожування м'ясних продуктів.

2. Інтелектуальний рівень підтримки прийняття оперативних рішень (ІСППОР) та оцінки ризиків від виникнення аварійних ситуацій (АС), аварій (А), стану холодильного агенту та обладнання (інтелектуальне АРМ холодильщика), який утворює рівень АСУГП

промислового холодильника. На цьому рівні реалізовано функцію самоорганізації (БСО — блок самоорганізації даних), а саме: аналіз стану холодильного обладнання, ідентифікація, створення бази даних (БД), бази знань (БЗ), бази правил та формування інформаційного масиву; БОСО — блок оцінки стану обладнання; ІСОА — інтелектуальна система оцінки аварійних ситуацій та аварій, МОСО — модель оцінки стану обладнання; НМОСО — нечітка модель оцінки стану обладнання, БАФСКС — блок алгоритмів формування системи команд, БАФСОСО — блок алгоритмів формування системи оцінки стану обладнання, ПАЗ-ПЗ — програмно-алгоритмічне забезпечення — програмне забезпечення виконання ППР.

3. Нижній адаптивний рівень АСК КУ — керування локальними системами холодильних машин: компресорами (Кс), конденсаторами (Кн), насосами (Н), випарниками (В) з системою датчиків (Д), електроприводами гвинтових компресорних установок з АД-ТПЧ і СД поршневіх компресорних установок та блоком подання нечітких даних (БП Д) у нечіткі контролери керування.

**Висновки.** Розроблено системну модель оцінки стану компресорного обладнання холодильних машин промислового холодильника, що дозволило спроектувати інтелектуальну систему управління промисловим холодильником з підсистемами розпізнавання аварійних ситуацій, мінімізувати ризики впливу викидів аміаку та інших холодоагентів на навколишнє середовище.

Розроблено метод ідентифікації стану холодильного обладнання промислових холодильників, який відрізняється від існуючих точністю прогнозування відмов обладнання та розпізнавання аварійних ситуацій у процесі його експлуатації. Цей метод оцінки працездатності холодильного обладнання виконано за допомогою розробленої структурної і параметричної ідентифікації нечіткої моделі за рахунок використання генетичних алгоритмів та штучних нейронних мереж, і результати якого дозволяють дослідити та встановити залежність між параметрами процесу заморожування продукції в холодильних камерах промислового холодильника і дефектами (відмовами), які є причинами виникнення аварійних ситуацій та аварій.

Розроблено інтелектуальну систему керування технологічним процесом заморожування м'ясних продуктів, в якій використано системи розпізнавання аварійних ситуацій.

#### Список літератури

1. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / заг. ред. С. М. Василенко. Київ : Ліра-К, 2019. 258 с. ISBN 978-617-7605-70-5.
2. Биченок М. М., Іванюта С. П., Яковлев Є. О. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. Київ : Інститут проблем національної безпеки, 2008. 160 с.
3. Лисиченко Г. В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. Київ : Наукова думка, 2008. 544 с.
4. Saaty T. L., Vargas L. G. Decision making with the analytic network process. Economical, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. New York City : Springer, 2006. 288 p.
5. Frank H. Knight. Risk Uncertainty and Profit. Eastford, Connecticut : Martino Fine Books, 2014. 394 p.
6. Сухенко В. Ю., Сухенко Ю. Г., Муштрук М. М. Показники надійності обладнання харчових виробництв. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2016. № 4. С. 12–16.
7. Надійність сільськогосподарської техніки / за ред. М. І. Черновол. Київ : Урожай, 2010. 242 с.
8. Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання : підручник. Херсон : ФОП Грін Д. С., 2014. 484 с.
9. Чернець М., Невчас А., Скварок Ю. Дослідження і підвищення зносостійкості матеріалів та оцінка довговічності і надійності триботехнічних систем. Дрогобич-Люблін, 2000. 329 с.
10. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М. Теоретичні основи оцінки надійності обладнання холодильних машин на основі нейронечіткого методу іденти-



фікації їх стану. Вісник ХНУ. Серія «Технічні науки». Хмельницький : ХНУ, 2022. Вип. 2 (307). С. 103–109. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-307-2-103-1089>.

11. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Петрушина Ю. М. Оцінка працездатності холодильних машин промислових холодильників в темпі з процесом холодопостачання. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2022. Вип. 1 (44). С. 53–65. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-44-1-53-65>.

12. Руденко В. М. Математична статистика : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 304 с.

13. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. Киев : Наукова думка, 2002. 418 с.

14. Russell S. J., Norvig P., Davis E. Artificial intelligence: a modern approach. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2010. 1132 p.

15. Вороновский Г. К. и др. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Харьков : Основа, 1997. 112 с.

16. 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.

### References

1. Vasylenko, S. M. et al. (2019). *Теплохолодотехніка* [Thermal and refrigeration engineering], Kyiv, Lira-K, 258 p.

2. Vychenok, M. M., Ivaniuta, S. P., Yakovliev, Ye. O. (2008). *Ryzyky zhyttiediialnosti u pryrodno-tekhnohennomu seredovyshchi* [Life risks in the natural and man-made environment], Kyiv, Institute for National Security Problems, 160 p.

3. Lysychenko, H. V., Zabulonov, Yu. L., Khmil, H. A. (2008). *Pryrodnyi, tekhnohennyi ta ekolohichnyi ryzyky: analiz, otsinka, upravlinnia* [Natural, technogenic and environmental risks: analysis, assessment, management], Kyiv, Naukova dumka, 544 p.

4. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2006). Decision making witty the analytic network process. Economical, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks, New York City, Springer, 288 p.

5. Frank, H. Knight. (2014). Risk Uncertainty and Profit, Eastford, Connecticut, Martino Fine Books, 394 p.

6. Sukhenko, V. Yu., Sukhenko, Yu. H., Mushtruk, M. M. (2016). *Pokaznyky nadiinosti obladnannia kharchovykh vyrobnytstv* [Indicators of reliability of food production equipment], *Standartyzatsiia. Sertyfikatsiia. Yakist.* [Standardization. Certification. Quality.], No. 4, pp. 12–16.

7. Chernovol, M. I. et al. (2010). *Nadiinist silskohospodarskoi tekhniki* [Reliability of agricultural machinery], Kyiv, Urozhai, 242 p.

8. Khmelniuk, M. H., Podmazko, O. S., Podmazko, I. O. (2014). *Kholodylni ustanovky ta sfery yikh vykorystannia* [Refrigeration plants and areas of their use], Kherson, FOP Hrin D. S., 2014. 484 p.

9. Chernets, M., Nevchas, A., Skvarok, Yu. (2000). *Doslidzhennia i pidvyshchennia znosostiikosti materialiv ta otsinka dovhovichnosti i nadiinosti trybotekhnichnykh system* [Research and improvement of wear resistance of materials and assessment of durability and reliability of tribological systems], Drohobych-Liublin, 329 p.

10. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Petrushyna, Yu. M. (2022). *Teoretychni osnovy otsinky nadiinosti obladnannia kholodylnykh mashyn na osnovi neironechitkoho metodu identyfikatsii yikh stanu* [Theoretical foundations for assessing the reliability of refrigeration machine equipment on the basis of the neuro-fuzzy method for identifying their state], *Visnyk KhNU. Seriiia "Tekhnichni nauky"* [Bulletin of KhNU. Series "Technical Sciences"], 2(307), pp. 103–109. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-307-2-103-1089>

11. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Petrushyna, Yu. M. (2022). *Otsinka pratsezdatsnosti kholodylnykh mashyn promyslovykh kholodylnykh v tempi z protsesom kholodopostachannia*

[Evaluation of the operability of refrigeration machines of industrial refrigerators at a pace with the refrigeration process], *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnystv* [Food production equipment and technologies], 1 (44), pp. 53–65. <https://doi.org/10.33274/2079-4827-2022-44-1-53-65>

12. Rudenko, V. M. (2012). *Matematychna statystyka* [Math statistics], Kyiv, Center for Educational Literature, 304 p.

13. Sirodzhia, I. B. (2002). *Kvantovye modeli i metody iskusstvennogo intellekta dlya prinyatiya reshenij i upravleniya* [Quantum models and artificial intelligence methods for decision making and management], Kiev, Naukova dumka, 418 p.

14. Russell, S. J., Norvig, P., Davis, E. (2010). *Artificial intelligence: a modern approach*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1132 p.

15. Voronovskij, G. K. et al. (1997). *Geneticheskie algoritmy, iskusstvennyye neyronnye seti i problemy virtualnoj realnosti* [Genetic Algorithms, Artificial Neural Networks and Problems of Virtual Reality], Harkov, Osnova, 112 p.

16. Horolskiy, V. P. et al. (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpnyemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region], Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O., 561 p.

**Objective.** *The purpose of the article is to develop methods for identifying technological controlled situations in the operation of modern ammonia compressor equipment from the refrigeration system of an industrial refrigerator based on artificial intelligence.*

**Methods.** *The article uses artificial intelligence methods to develop a model and methods for assessing emergency situations and optimizing the reliability of complex technological systems for providing cold with ammonia compressor equipment for freezing food.*

*In order to obtain scientific results, a methodology has been developed that provides: the development of methods for identifying the state of compressor ammonia machines, the construction of models of cause-and-effect relationships (fault tree) of the technological process of refrigeration supply of refrigeration chambers of an industrial refrigerator of high power; study of the relationship between technological performance parameters, assessment of reliability and recognition of emergency situations; modeling of the state of equipment associated with the parameters of reliability and performance of compressor machines. The technique allows to reduce the risks from emergencies of ammonia refrigeration equipment, and the methods for their assessment depend on the possibility of a controlled impact of energy carriers of the technological process on a person (industrial injuries, occupational diseases), the environment (environmental accidents and disasters) and their impact on production areas and the population (accidental releases of ammonia, releases of lubricants, etc.). The methodology recommends that designers, when designing modern multi-level intelligent control systems, develop subsystems for the life safety of refrigeration enterprises in the food industry, to begin with the definition (identification) and control (monitoring) of potentially dangerous processes for the production of safe food smart products, their storage in refrigerators. At the same time, the assessment of the state of equipment of refrigerating machines — the refrigeration supply of refrigerating chambers of a refrigerating enterprise must be performed on the basis of a neuron-fuzzy information processing method in order to improve the accuracy of forecasting and preventive management of the occurrence of emergencies, failures of elements of this technical system, which can lead to hazardous situations. That is, it is necessary, on the one hand, to develop a system for monitoring the condition of refrigeration equipment (refrigeration supply of industrial refrigerators), and on the other hand, to control the time of reliable trouble-free operation of refrigeration equipment elements as a predictive indicator.*

**Results.** *A method for identifying the state of refrigeration equipment of industrial refrigerators has been developed, which differs from the existing ones in the accuracy of predicting equipment failures and recognizing emergency situations during its operation. A system model for assessing the state of the compressor equipment of refrigeration machines of an industrial refrigerator has been developed, which made it possible to design an intelligent control system for an industrial refrigerator with subsystems for recognizing emergency situations, to minimize the risks of the impact of ammonia and other refrigerant emissions on the environment. In an intelligent system for recognizing emergencies at a pace*

with the process, the performance of refrigeration equipment was assessed using the developed structural and parametric identification of a fuzzy model, as well as through the use of genetic algorithms and artificial neural networks, the results of which allow us to investigate and establish the relationship between the parameters of the freezing process in refrigeration chambers of an industrial refrigerator and defects (failures), which are the causes of emergencies and accidents.

**Key words:** reliability, emergency situations, risk minimization, identification, cold supply, ammonia compressor machines, neuro-fuzzy control, intelligent system.

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-71-77

UDC [631.576:582.711.714]:(631.362:502.21-027.236-049.34)

*Tsvirkun L. O., PhD in Pedagogical sciences<sup>1</sup>*

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences<sup>1</sup>*

*Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences<sup>2</sup>*

*Shilin A. S., здобувач ОС бакалавра<sup>1</sup>*

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

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

#### INCREASING RESOURCE SAVING AND OPERATIONAL EFFICIENCY OF APPLE SORTING DEVICE

УДК [631.576:582.711.714]:(631.362:502.21-027.236-049.34)

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук<sup>1</sup>*

*Омельченко О. В., канд. техн. наук<sup>1</sup>*

*Цвіркун С. Л., канд. техн. наук<sup>2</sup>*

*Шилін А. С., A graduate of a bachelor's degree<sup>1</sup>*

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

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

#### ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ЯБЛУК РІЗНОГО РІЗНОВИДУ

**Objective.** The purpose of the article is to increase the resource saving and efficiency of the device for sorting apples of various varieties.

**Methods.** In the work for sorting apples, namely varieties Golden and Granny Smith, methods for finding singular points were used: the Harris method, the SURF method, the SIFT method, the FAST method, and others.

**Results.** It is noted that in modern conditions, the issue of improving food production processes and equipment is extremely relevant. It is possible to improve the process of sorting apples by using a system of tracking objects in the flow through the identification of contours of objects, namely video surveillance through unique special points. Currently, there are a large number of algorithms for selecting special points of an image, which convey information about certain features of the image. On the basis of complex analysis, it is considered that during the processing of the upper segment of the frame  $f_a(x, y, t)$ , the outline of the apple and its visual characteristics are determined: size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ). At this stage special points and their descriptors are defined. Unique descriptors of singular points related to the selected object are memorized and in the future according to their location in the lower fragment of the frame  $f_b(x, y, t)$  are evaluated and subject to selection. Attention is focused on the fact that due to the limited speed of the executive sorting mechanism, it is important to estimate the distances between groups of objects located close to each other. The method of multi-criteria selection

Надійшла до редакції 17.10.2022 р.

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

*involves extracting the apples with the worst indicators from a set of options that need to be selected from the general stream. Apples whose indicators meet the specified conditions (size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ )) are removed from the general flow and sent for further processing in the food industry. In order to increase the efficiency of apple sorting, it is proposed to recognize the contours of objects when they appear in the frame and then conduct video surveillance of unique special points of the image. To meet the condition of reliability, it was established that the threshold for determining the value of mutual correlation should not be less than 0.985. A promising direction of further research is the analysis of image processing methods of video streams to improve the quality of recognition by eliminating distortions caused by the movement of the stream of objects during video camera observation.*

**Key words:** *sorting, automation, sorting device, technological processes, apples, methods for finding singular points, video surveillance.*

**Formulation of the problem.** Today, the problems of improving the processes and apparatuses of food production are becoming extremely important. Labor productivity at domestic food production enterprises is 2–4 times lower than at similar enterprises in the developed countries of the world, because about 50% of labor-intensive operations are performed manually and only 20% of existing equipment operates in automatic mode [1]. The quality of products and the costs of their production largely depend on the efficiency of technologies, processes and apparatus, the level of their mechanization and automation, which ensures the intensification of the development of the food industry.

**Analysis of recent research and publications.** One of the main operations of post-harvest processing of apples is their quality sorting. External injuries, such as bruises, depressions, burns, reduce the commercial quality of the fruit raw material, reduce the shelf life. Recently, image processing electronics have been improved to solve this problem, and recognition systems for sorters are becoming increasingly important.

When detecting and recognizing apples, it is advisable to use the characteristic features of images [2]: geometric, radiometric, texture, topological, dynamic, temporal. Currently, there are a large number of algorithms for selecting key points in images that transmit information about certain features of the image.

According to the Harris method, the singular points are the corner points of the brightness difference [3]. The application of this method involves the performance of a sufficient resource-intensive operation of calculating the matrix eigenvalues. Also, as noted in [2], the application of the method is inexpedient under conditions of image scaling and rotation, which are typical for images of objects moving in a stream on conveyor lines.

Considering the SURF [4] method, the search for singular points is based on the calculation of the Hessian matrix. In addition, as shown in [4] for images with a uniform texture, which include images of objects, the SURF method demonstrates a low accuracy of personal point comparisons. The FAST (Features from Accelerated Test) method proposed in [5] involves the construction of decision trees for classifying pixels in a stream image.

The SIFT method proposed in [6] is completely invariant to scaling, rotation and translation, and also partially to affine transformations and changes in illumination. Characteristic features are distinguished at different image scales by filtering, which makes it possible to find blurry image gradients with different local orientations.

According to the SURF method [4], the search for singular points is based on the calculation of the Hessian matrix, as a convolution of the pixel values of the image of the flow object with the Gaussian Laplacian. It should be noted that the Hessian is rotation invariant but not scale invariant. In addition, as shown in [2] for images with a uniform texture, which include images of objects, the SURF method demonstrates a low accuracy of matching singular points.

**Objective of the article** is to increase resource saving and efficiency of the device for sorting apples.

**Presentation of the main study material.** Presentation of the main study material. It is possible to improve the process of sorting apples through the use of an object tracking system in the stream. On apple sorting devices, it is advisable to recognize the contours of objects when they appear in the frame, and then their video surveillance of unique special points of the image. To do this, the



frame of the video stream is divided by a conditional horizontal line in accordance with fig. 1, passing through the line with the MS index into two fragments.

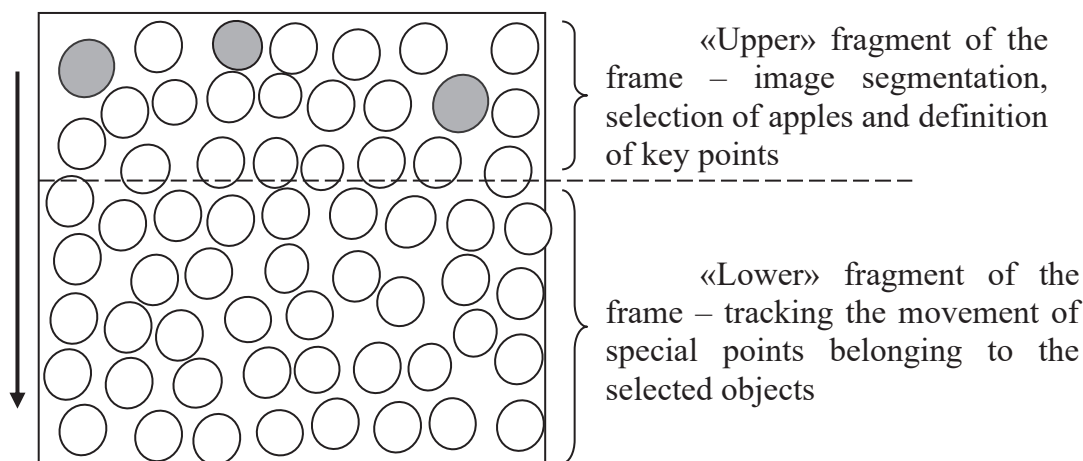


Figure 1 – Processing principle of apple flow image

$$f(x, y, t) \Rightarrow \left( f_{\alpha}(x, y, t) \mid x = \overline{0, M_S - 1} \right) \cup \left( f_{\beta}(x, y, t) \mid x = \overline{M_S, M - 1}, y = \overline{0, N - 1} \right) \quad (1)$$

The apples on the conveyor belt will move from the top of the frame to the bottom.

When processing the upper fragment of the frame  $f_{\alpha}(x, y, t)$  the contours of apples and their visual characteristics are determined: size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ). At this stage, the search for singular points in the entire image and the calculation of their descriptors are performed. The unique descriptors of those singular points that belong to the selected objects are stored, and in the future, according to their location in the lower fragment of the frame  $f_{\beta}(x, y, t)$ , the location of the corresponding apples to be selected is estimated.

The limited speed of the executive sorting mechanism does not allow dumping apples located close enough on the same line in the direction of the conveyor line. Therefore, the distance between groups of closely spaced objects is estimated and the method of multi-criteria selection is made, apples with the worst indicators are excluded from the set of options to be selected from the general flow: minimum size, improper external condition and color. It is derived from the general flow of apples, which can be sent to the industrial processing according to the following characteristics: size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ).

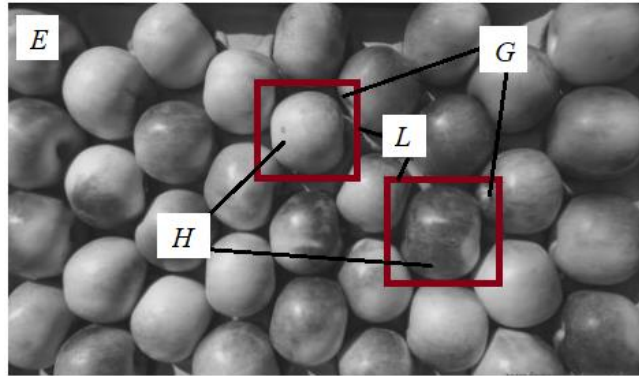
If there are, in the general case  $N$  objects from which the choice is made, we have the following characteristics [6]:

$$\bar{d} = \{d_i \mid 1 \dots N\}, \bar{m} = \{m_i \mid 1 \dots N\}, \bar{g} = \{g_i \mid 1 \dots N\}.$$

The object with index  $i$  includes a set of characteristics with the same indices  $\Theta_i = \{d_i, m_i, g_i\}$ . In the general case, when choosing one element from a set  $\Theta = \{\Theta_i \mid 1 \dots N\}$ , it is necessary to ensure the maximum approximation of the values of the element's characteristics to some given values of the «ideal sample»  $\Theta^* = \{d^*, m^*, g^*\}$ .

At the initial stage, certain areas of the image containing apples are scanned according to the specified characteristics in accordance with fig. 2.

The following designations are accepted:  $E$  – is the original image,  $L_n$  – is the set of points of the observed image fragments;  $H_n, G_n$  – are the set of points from the flow of apples and background points in the observed image fragments. In this case, the centers of the image fragments are located at a point corresponding to the predicted coordinates of the given objects  $(\lambda_{hx}(n), \lambda_{hy}(n))$ .



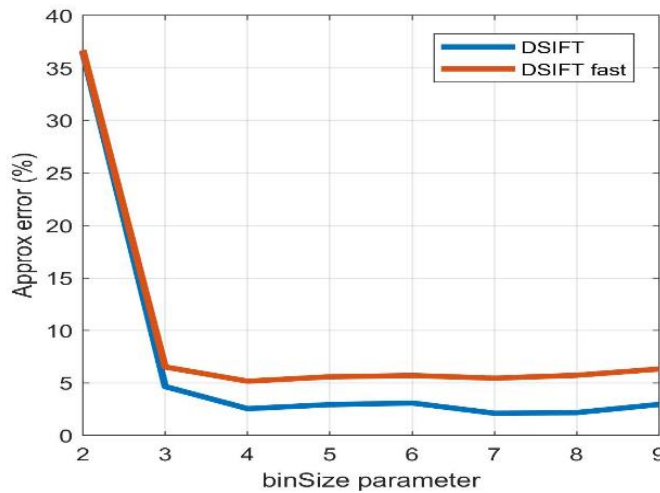
**Figure 2** – Fragments of the image of the flow of apples containing the desired objects

Taking into account the noise introduced by the video camera, the model for observing a sequence of images of a stream of apples [7].

$$L(n) = R(n)H(n) + (1 - R(n))G(n) + \Xi(n) \quad (2)$$

where  $L(n)$  — is the observed image presented as a vector;  $H(n)$  — is the vector corresponding to the image  $Hn$ ;  $G(n)$  — is the vector corresponding to the background image  $Gn$ ;  $\Xi(n)$  — noise vector;  $R(n)$  — is a square diagonal matrix whose diagonal elements are  $r_n = \{1, 0\}$ ; 1 is the identity matrix.

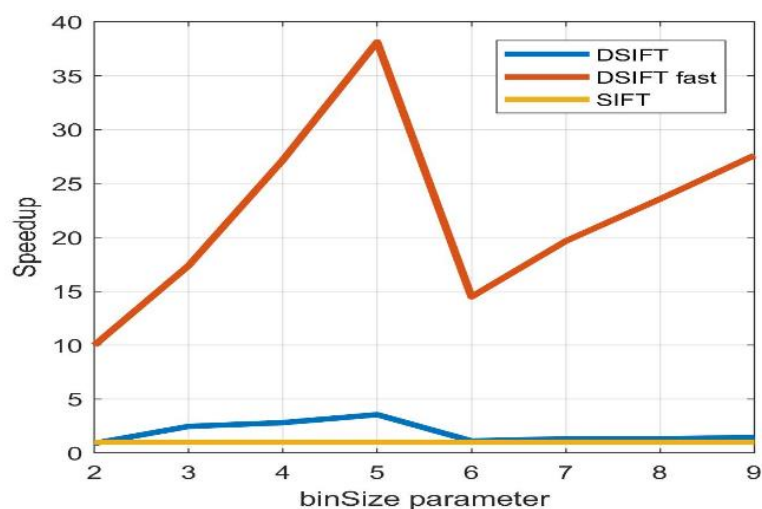
To solve the problem associated with determining the singular points of apple images, the dependences of the basic SIFT algorithm and its modifications DSIFT [6, 9, 10] and FastDSIFT [8] were studied. It has been established that the error in determining descriptors using the FastDSIFT method for different values of the number (bin) of the descriptor exceeds the similar DSIFT indicator according to fig. 3.



**Figure 3** – The magnitude of the error definition of image fragment descriptors of the stream of objects

The use of modifications of the FastDSIFT method makes it possible to significantly increase the speed of work of departments to determine the basic SIFT method, the speed of which is assumed to be one in accordance with fig. 4.

As a result of the study of the SIFT algorithms and its modifications DSIFT and FastDSIFT for solving the problem of determining the singular points of images, it was found that the error in determining descriptors using the FastDSIFT method for different values of the number of regions (bin) of the descriptor exceeds that of DSIFT slightly. At the same time, the use of the FastDSIFT method made it possible to significantly increase the speed of the descriptor determination subsystem, which allows us to conclude that it is advisable to use it in the food industry. Since, in this case, the more important factor is the accuracy of the video tracking system for



**Figure 4** — Increasing the speed of the subsystem for determining the descriptors of a fragment of an image stream of objects

objects in the stream, the value of the binSize parameter was chosen to be 4, which corresponds to an increase in the speed of work by an average of 26–27 times.

**Conclusions.** Therefore, the apple sorting process can be improved by applying an object tracking system in the stream. On apple sorting devices, it is advisable to recognize the contours of objects when they appear in the frame, and then their video surveillance of unique special points of the image. When processing the upper fragment of the frame  $f_{\alpha}(x, y, t)$ , the contours of apples and their visual characteristics are determined: size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ), special points are searched for throughout the image and their descriptors are calculated. The unique descriptors of those singular points that belong to the selected objects are stored, and in the future, according to their location in the lower fragment of the frame  $f_{\beta}(x, y, t)$ , the location of the corresponding apples to be selected is estimated.

To comply with the condition of detection authenticity, it is established that the threshold for the cross-correlation value must have a value of at least 0.985. Promising directions for the subsequent stages of research are methods for processing images of a video stream in order to improve the quality of recognition by eliminating distortions caused by the movement of a stream of video camera objects.

### References

1. Tereshkin, O. G. (2014). *Naukove obgruntuvannya kombinovanih protsesiv ta rozrobka resursozberigayuchogo ustatkuvannya dlya ochishcheniya ovochevoi sirovini* [Scientific substantiation of combined processes and development of resource-saving equipment for the cleaning of vegetable products]. Kharkov, 345 p.
2. Martinenko, I., Golovinsky, B., Lysenko, V. (2001). *Avtomatizatsiya tekhnologichnikh protsesov silskogospodars'kogo virobnitstva* [Automation of technological processes of agricultural production]. Kyiv, Harvest, 224 p.
3. Kharris, K., Stivens, M. (2005). *Kombinovanyy detektor kutiv i krayiv* [Combined corner and edge detector]. *Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and management systems]. vol. 6, pp. 150–154.
4. Bey, Kh., Tutelaars, T., Van Hul, L. (2006). *SURF: pryskoreni nadiyni funktsiyi* [SURF: Speeded up robust features]. *Materialy Yevropeyskoyi konferentsiyi z komp'yuternoho zoru* [Proceedings of the European Conference on Computer Vision]. vol. 2. pp. 404–407.
5. Rosten, E., Drummond, T. (2010). *Tochki soyedineniya i linii dlya vysokoproizvoditelnogo otslezhivaniya* [Fusing points and lines for high performance tracking]. *Mezhdunarodnaya*

*konferentsiya IEEE po komp'yuternomu zreniyu* [IEEE International Conference on Computer Vision]. Beijing, China, vol. 2, pp. 1508–1515.

6. Lou, H.D. (2004). *Vidminni rysy zobrazhennya vid masshtabno-invariantnykh klyuchovykh tochok* [Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints]. *Mizhnarodnyy zhurnal komp'yuternoho zoru* [International Journal of Computer Vision]. vol. pp. 1–28.

7. *Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh protsesiv i SAK* (2014). [Automation of technological processes and SAC]. Available at : <https://atpicak.ucoz.ua>.

8. Vedaldi, A. *Invariantne peretvorennya (DSIFT)*. [Dense Scale (DSIFT)]. Available at : <http://www.vlfeat.org/api/dsift.html>.

9. Parker, Dzh., Dzheymys, R. (2001). *Alhorytmy obrobky zobrazhen i kompyuternoho zoru* [Algorithms for Image Processing and Computer Vision]. Indiana: Wiley Publishing, 480 p.

10. Gustafson, D. E., Kessel, W. C. (2008). *Nechetkaya klasterizatsiya s nechetkoy kovariatsionnoy matritsey* [Fuzzy clustering with a fuzzy covariance]. *Konferentsiya IEEE po prinyatiyu resheniy i kontrolyu, vklyuchaya 17-y simpozium po adaptivnym protsessam* [IEEE decision making and control conference, including 17th adaptive processes symposium]. San Diego, CA, USA, vol. 7. pp. 773–781.

### Список літератури

1. Терешкін О. Г. Наукове обґрунтування комбінованих процесів та розробка ресурсозберігаючого устаткування для очищення овочевої сировини : дис. ... д-ра тех. наук : 05.18.12. X., 2014. 345 с.

2. Мартиненко І.І., Головинський Б.Л. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. К. : Урожай, 2001. 224 с.

3. Harris C. A., Stephens M. Combined corner and edge detector. *Theory and management systems*. 2005. №6. P. 147–151.

4. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded up robust features. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. 2006. № 2. P. 404–407.

5. Rosten E., Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking. 10th IEEE International Conference on Computer Vision. Beijing, China. 2010. Vol. 2. pp. 1508–1515.

6. Lowe G. D. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*. 2004. №1. pp. 1–28.

7. Автоматизація технологічних процесів і САК. URL : <https://atpicak.ucoz.ua>.

8. Vedaldi A. Dense Scale (DSIFT). URL : <http://www.vlfeat.org/api/dsift.html>.

9. Parker J., James R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Indiana: Wiley Publishing, 2001. 480 p.

10. Gustafson D. E., Kessel W. C. Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix. IEEE Conference on Decision and Control including the 17th Symposium on Adaptive Processes. San Diego, CA, USA. 2008. Vol. 7. pp. 773–781.

**Мета.** Метою статті є підвищення ресурсозбереження та ефективності функціонування пристрою для сортування яблук різного різновиду.

**Методи.** У роботі для сортування яблук різного різновиду, а саме сортів яблук *Golden і Grappu Smith*, було застосовано методи пошук особливих точок: метод Харріса, метод SURF, метод SIFT, метод FAST та інші.

**Результати.** Зазначено, що в сучасних умовах надзвичайно актуальним постає питання удосконалення процесів і обладнання харчових виробництв. Покращити процес сортування яблук можливо за допомогою застосування системи відстеження об'єктів у потоці через ідентифікацію контурів об'єктів, а саме відеоспостереженням через унікальні особливі точки. В даний час існує велика кількість алгоритмів виділення особливих точок зображення, які передають інформацію про певні особливості зображення. На основі комплексного аналізу вважається, що під час обробки верхнього сегмента кадру  $f_{\alpha}(x, y, t)$  визначається контур яблука та його візуальні характеристики: розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ). На цьому етапі знахо-

дяться особливі точки та обчислюються їхні дескриптори. Унікальні дескриптори особливих точок, що належать до вибраного об'єкта запам'ятовуються і надалі згідно їх розташування в нижньому фрагменті кадру  $f_{\beta}(x, y, t)$  оцінюється та підлягають відбору. Акцентується увага на тому, що у зв'язку з обмеженою швидкістю виконавчого сортувального механізму, важливою є оцінка відстаней між групами об'єктів, розташованих близько один до одного. Методом багатокритерійного вибору здійснюється вилучення яблук з найгіршими показниками із множини варіантів, які потрібно вибрати із загального потоку. Яблука, показники яких відповідають заданим умовам (розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ )) вилучаються із загального потоку і відправляються для подальшої переробки у харчовій промисловості. Запропоновано для підвищення ефективності пристрою для сортування яблук розпізнавати контури об'єктів, коли вони з'являються у кадрі і надалі проводити відеоспостереження за унікальними особливими точками зображення. Для дотримання умови достовірності було встановлено, що поріг для визначення значення взаємної кореляції має бути щонайменше 0,985. Перспективним напрямком подальших досліджень є аналіз методів обробки зображень відеопотоків для підвищення якості розпізнавання за рахунок усунення спотворень викликаних рухом потоку об'єктів у процесі спостереження відеокамерою.

**Ключові слова:** сортування, автоматизація, пристрій сортування, технологічні процеси, яблука, методи пошук особливих точок, відеоспостереження.



# РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-78-87

УДК 628.161

*Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, професор<sup>1</sup>*  
*Гузенко В. В., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>*  
*Серебряніков Ю. О., магістрант<sup>1</sup>*  
*Омельченко О. В., канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>*  
*Буньков В. В., здобувач ОС бакалавра<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет (м. Харків, Україна), e-mail: deinychenkovg@ukr.net.

<sup>2</sup> Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий ріг, Україна), e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

## ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ ТИПІВ МЕБРАННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ РІДИН

UDC 628.161

*Deynichenko G. V., Grand PhD of Engineering  
Science, Professor<sup>1</sup>*  
*Guzenko V. V., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>1</sup>*  
*Serebryanikov Yu. O., magistrant<sup>1</sup>*  
*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor<sup>2</sup>*  
*Bunkov V. V., A graduate of a bachelor's degree<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: deinychenkovg@ukr.net.

<sup>2</sup> Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhael Tugan-Baranovsky, Kriviy Rig, Ukraine, e-mail: omelchenko@donnuet.edu.ua.

## CHARACTERISTICS OF MODERN TYPES OF MEMBRANE ELEMENTS USED FOR PROCESSING FOOD LIQUIDS

**Мета.** Мета статті полягає у виявленні нових типів мембран та мембранних елементів для удосконалення мембранного устаткування молочної промисловості.

**Методи.** В статті застосовані загальноприйняті теоретичного та комбіновані методи інформаційного аналізу із використанням сучасних комп'ютерних програм. На базі експериментальних досліджень та власних розробок методами порівняльного та системного аналізу надано характеристику мембран. Для дослідження нових видів мембран та особливостей їх структури проаналізовано інформаційні джерела за обраною тематикою: монографії, статті, енциклопедії, патенти, дисертації.

**Результати.** Представлені результати аналітичних досліджень з вибору мембран та мембранних елементів для обробки харчових рідин, що широко використовуються в різних галузях харчової та переробної промисловості. Представлено класифікацію сучасних типів мембранних елементів, що використовуються для обробки харчових рідин в залежності від потреб підприємств харчової та переробної промисловості. Надано технологічні характеристики неорганічних та органічних напівпроникних мембран, що мають широке використання на підприємствах харчової та переробної промисловості. Наведено приклади інноваційних розробок напівпроникних мембран для удосконалення процесних аспектів переробки харчових

Надійшла до редакції 18.10.2022

© Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко,  
Ю. О. Серебряніков, О. В. Омельченко,  
В. В. Буньков, 2022

рідин тваринного та рослинного походження та підвищення продуктивності мембранного обладнання. Розроблено класифікацію сучасних напрямів удосконалення різних типів напівпроникних мембран згідно останніх світових досліджень та інноваційних розробок. Виявлено нові методики, щодо удосконалення розробки нових напівпроникних мембран згідно світових вимог та європейських стандартів. Отримані результати можуть бути використані в подальшому формуванні теоретичних та експериментальних досліджень під час розробки нового устаткування для проведення мембранного розділення вторинної молочної сировини та екстрактів рослинної сировини на підприємствах харчової промисловості.

**Ключові слова:** мембрана, процес, елемент, обробка, структура, рідина, харчування, використання.

**Постановка проблеми.** В різних країнах світу мембранні технології розділення рідинних сумішей знаходять широке використання. Застосування напівпроникних мембран відкриває великі можливості у переробці харчових рідин на молекулярному рівні [1]. Збезводнювання молочної сировини, фруктових та овочевих соків, сиропів, екстрактів, білків, різноманітних есенцій, пива та інших харчових продуктів може здійснюватись ультрафільтрацією набагато дешевше, ніж, наприклад, випарюванням або виморожуванням, і без втрати лабільних компонентів та погіршення смаку, що часто супроводжує концентрування випарюванням [2].

Не дивлячись на безумовну перспективність та переваги мембранної технології порівняно з іншими процесами концентрування, впровадження її на підприємствах переробки молочної сировини, в теперішній час відбувається низькими темпами. Це пояснюється рядом причин, які пов'язані із недостатнім асортиментом і якістю промислових мембран, що випускаються [3]. При цьому одним з основних чинників, який гальмує впровадження мембранної технології в харчову промисловість є недосконалість технології формування мембран, її складність та висока вартість. Тому нагальним завданням виступає огляд нових розробок та технологій сучасного виробництва напівпроникних мембран, що можуть бути застосовані для переробки знежиреної молочної сировини [4].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Одна з причин інтенсивного розвитку мембранної технології в усьому світі — відносно низькі енергетичні витрати на процеси розділення. Так, при опрісненні води методом ультрафільтрації витрати енергії складають 13 МДж/м<sup>3</sup>, тоді як методом виморожування — 28 МДж/м<sup>3</sup>, а методом випарювання — 230 МДж/м<sup>3</sup> [5, 6]

Головним елементом всіх мембранних установок є напівпроникна мембрана. Тому основні особливості мембранних процесів, режими їх проведення визначаються характеристиками та властивостями напівпроникних мембран, які використовуються [6, 7].

Процеси ультрафільтрації виконують на мембранах із середнім діаметром пор від 1 до 10 нм, які називають ультрафільтраційними мембранами. В процесах ультрафільтрації розділяють розчини, які містять великі молекули біополімерів, в тому числі молекули білків [8, 9].

Проте для молочної промисловості, стримувальним фактором є обмеженість, а в деяких випадках відсутність наукових досліджень сучасних типів мембран, процесів УФО-обробки біологічних рідин, що спричиняє необхідність надання теоретичних та практичних рекомендацій щодо їх промислового застосування [10, 11].

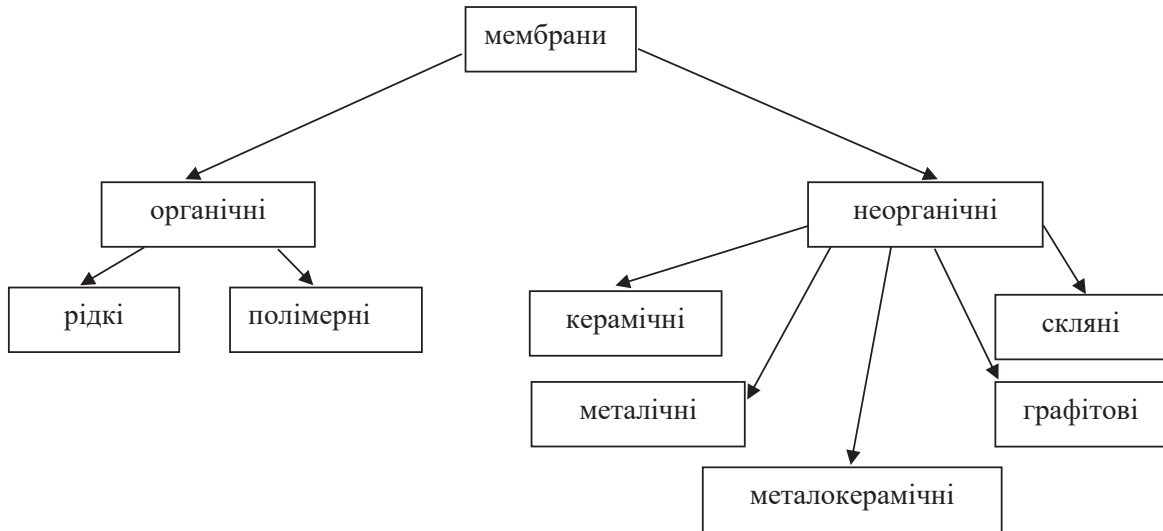
**Мета статті** полягає у виявленні нових типів мембран та мембранних елементів для удосконалення мембранного устаткування молочної промисловості.

Щоб досягти зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

- представити сучасну класифікацію мембран, що використовуються в молочної промисловості згідно світової практики;
- надати характеристику та класифікацію нових прогресивних видів мембранних елементів на основі різних мембранних елементів;
- на підставі результатів дослідження визначити напрямки застосування мембранних елементів з метою удосконалення мембранного обладнання для переробки молочної сировини.

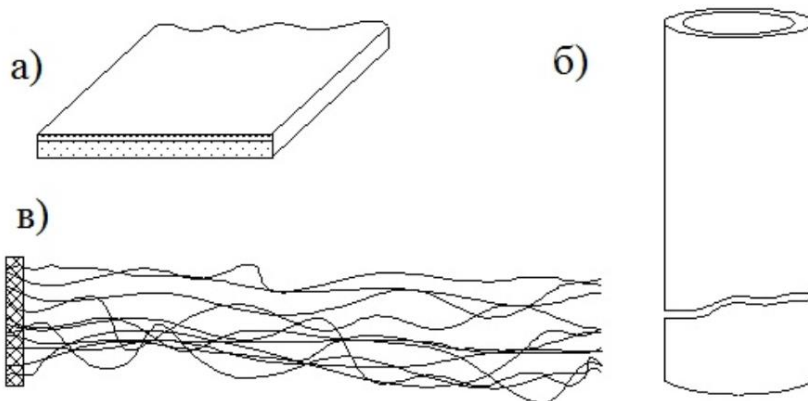
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Мембрани, що використовуються у різних мембранних процесах, класифікуються за різними ознаками. Найбільш простий є класифікація всіх мембран на природні (біологічні) та синтетичні. Природними є мембрани живих організмів, ліпосоми та везикули. У промислових баромембранних процесах використовують синтетичні мембрани, класифікаційна схема яких наведена на рис. 1 [12].

Для ультрафільтрації використовуються виключно пористі мембрани, які здійснюють поділ різних за розміром молекул і частинок. Селективність таких мембран в основному визначається співвідношенням розміру пор і розміру частинок, що розділяються, а матеріал мембрани незначно впливає на розділення [13].



**Рисунок 1** — Класифікація мембран, що використовуються в промисловості в залежності від виду матеріалу (складено авторами на основі [12])

Інший спосіб класифікації мембран — за морфологією — дозволяє розділити тверді синтетичні мембрани на пористі та непористі, симетричні та асиметричні, композиційні та однорідні за матеріалом — за структурою, а також на плоскі, трубчасті та поволоконні (рис. 2).



**Рисунок 2** — Мембрани різних форм: а) плоскі, б) трубчасті, в) пучок порожнистих волокон (складено авторами на основі [12])

Під асиметричними розуміються мембрани, які з двох чи більше структурно неоднорідних шарів одного й того ж матеріалу, а під композиційними — мембрани, які з хімічно неоднорідних матеріалів [14]. У цих випадках крупнопористий шар більшої товщини називають підкладкою, а дрібно- і непористий шар — селективним, тому що він забезпечує розділові властивості мембрани.

В даний час розрізняють УФ-мембрани трьох поколінь — першого, другого та третього. Ультрафільтраційні мембрани першого покоління виготовляють із полімерних матеріалів на основі ацетатцелюлози. Вони складаються з мікропористого шару, який ви-

конує функцію поділу оброблюваної рідини, і макропористої підкладки, яка є несучою основою самої мембрани [15].

До мембран першого покоління належать напівпроникні УФ-мембрани типу УАМ і УПМ виробництва ВНДІ синтетичних смол, а також мембрани «Альпопор», розроблені НДІ полімерних матеріалів НВО «Пластмаси» [16]. Аналогічні розробки мембран відомі у країнах Західної Європи [17].

Недоліками всіх мембран першого покоління є низькі механічна міцність та хімічна стійкість, можливе мікробіальне розщеплення мембран, низька верхня межа температур (+30 °С), зниження пропускної спроможності у міру експлуатації, що зумовило необхідність подальшого вдосконалення мембранної техніки.

Розробки щодо вдосконалення структури та властивостей УФ-мембран першого покоління продовжуються і зараз. Так, у роботі [18] розроблено полімерні пористі мембрани для поділу білково-вуглеводної молочної сировини. Автором вперше запропоновано нову формую суміш вторинних ацетатів целюлози з ацетоном і етиловим спиртом для виготовлення полімерних пористих мембран, при цьому етиловий спирт виступав у ролі пороутворювача.

Розроблено УФ-полімерні плівкові мембрани на основі вторинного ацетату целюлози, наповнені активованим вугіллям [19]. Вивчено характеристики міцності мембран, визначено максимальне навантаження, при якому руйнується зразок, розрахована міцність при розриві і відносному подовженні. Досліджено процес УФ молочної сировини, показано переваги нових мембран порівняно з традиційними.

Аналогічні розробки відомі за кордоном. Так, R. Barbor із співавторами створені модифіковані ацетилцелюлозні мембрани для поділу емульсії типу «масло у воді» [20]. Авторами досліджено поділ емульсії з використанням двох мембран із різною гідрофобністю.

У харчових виробництвах найбільш поширені виявили полімерні мембрани другого покоління. Вони мають ряд переваг — достатню механічну міцність, високу хімічну стійкість, порівнянний з прогнозованим розміром пор. Фільтруюча перегородка апарату, виконана з полімерних мембран, може мати будь-яку форму — у вигляді плоскої плівки або стрічки, циліндричної плівки на пористій циліндричній основі, у вигляді порожнистих порожнистих волокон.

Сьогодні використовуються полісульфонамідні мембрани, а також асиметричні трекові УФ-мембрани з поліетилентерефталату та полікарбонату з ефективним діаметром пор у селективному шарі 15...20 нм. Отримані трекові мембрани мають більш високу (у десятки разів) продуктивність у процесах УФ-поділу високомолекулярних речовин, ніж трекові мембрани звичайного типу [21].

В інституті фізико-органічної хімії НАН Республіки Білорусь розроблено помірно гідрофільні мембрани другого покоління торгової марки МІФІЛ — типу ПА — на основі ароматичного поліаміду та типу ПС — на основі ароматичного полісульфону. Мембрани призначені для УФ харчових продуктів, поділу розчинів ВМС та біологічно активних речовин. Мембрани рекомендуються для використання у біотехнології, харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості [22].

Фізико-хімічні характеристики деяких УФ-мембран другого покоління виробництва промислово розвинених країн світу наведено у табл. 1.

**Таблиця 1** — Характеристики деяких видів неорганічних ультрафільтраційних мембран (складено авторами на основі [22])

Найменування показника	Фірма-виготівник (країна)		
	«Амікон» (США)	«Мілліпор» (США)	«Дайцел» (Японія)
Марка мембрани	UM, DM, PM, XM	PSAC, PTGC, PSED, PTHK, PSVP	DUY
Матеріал мембрани	поліелектронний комплекс		сополімери акрилонітрила



Найменування показника	Фірма-виготівник (країна)		
	«Амікон» (США)	«Мілліпор» (США)	«Дайцел» (Японія)
Робочий тиск, МПа	0,07...0,38	0,18	0,7
Проникність, м <sup>3</sup> / (м <sup>2</sup> ·ч)	12...3000	60...900	-
Молекулярна маса речовин, що затримуються	594...960000	10000...3000000	1000...50000
Селективність, %	90...98	100	100

З даних таблиці 1 видно, що сучасні УФ-мембрани мають широкий діапазон проникності, затримують речовини з молекулярною масою від кількох сотень до трьох мільйонів і мають селективність, що наближається до 100%. Фірмою DDS (Данія) розроблено листові полімерні мембрани на основі ацетату целюлози (типу CA, UF), полісульфону (типу GR, UF), регенованої целюлози (RC 70 PP), які рекомендовані для використання у біотехнології та харчовій промисловості.

Японська фірма «Tatabanya Banyak Vallalat» розробила капілярні мембрани на основі полісульфону марок PSF та PSA. Мембрани відрізняються компактністю, розділяють рідини будь-якої кислотності, мають широкий діапазон (5...80 С) робочих температур.

У Великобританії отримані композитні мембрани на основі поліамідів 66, 69, 610 і 612 шляхом кристалізації та морфології. Мембрани відрізняються підвищеною продуктивністю та селективністю. Німецькими вченими розроблено фільтруючу мембрану, що має субмікропористу структуру [23]. Мембрана містить пористий шар, що має пори різного розміру. Для виготовлення мембрани використовують пористий матеріал, оброблений дисперсією, що містить частинки рідини, після затвердіння якої вони звільняються, утворюючи мікропори. Мембрана має високу механічну міцність та використовується для процесу УФ.

Ще одним різновидом із використанням УФ-мембран другого покоління є динамічні мембрани. Динамічними називаються композиційні мембрани, селективний шар яких утворений частинками, що містяться в рідині і формують шар осаду на пористій підкладці. Власне розподіл суміші відбувається на цьому шарі, чиста рідина фільтрується через нього, а частинки дисперсної фази затримуються на ньому [24].

Шар знаходиться в динамічній рівновазі з розчином і мембраною, тому постійна присутність мембрановмісних частинок рідини — обов'язкова умова існування динамічної мембрани. Різні колоїдні розчини харчових виробництв, наприклад продукти бродіння, можуть утворювати динамічні мембрани. В інших випадках до вихідного розчину необхідно додавати спеціальні матеріали — крохмаль, бетоніти, полівінілпіронідол та солі гідроксиду деяких металів. Різновидом динамічних мембран є рідинні мембрани. Найбільш сучасні це УФ-мембрани третього покоління, що одержують із металовмісних сполук — оксидів алюмінію, титану, магнію, а також їх комбінацій. Пористі металовмісні мембрани отримують спіканням металевих порошків (сталь, титан і титанові сплави), а також вилуговування будь-якої частини сплаву. На такі пористі підкладки часто проводять напилення Ni, Zn, Cu, Co та інших металів на формування селективних шарів [25].

До металів третього покоління відносяться також металокерамічні мембрани, які є плоскими або трубчастими елементами, що складаються з пористої металевої підкладки (нержавіюча сталь, титан, різні сплави) і селективного керамічного шару (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Керамічний шар наноситься на готові листи металевої підкладки, потім пресується і обпалюється в печах при температурі 1000 °С [26].

Вченими доведено, що продуктивність мембран може бути підвищена за рахунок того, що на поверхню анодного оксиду алюмінію з боку бар'єрного шару наноситься додаткове покриття з вентиляльного матеріалу, що призводить до рівномірного розкриття пор в бар'єрному шарі. Підвищення надійності та довговічності мембран може бути досягнуто

за рахунок використання модифікованих мембран, які отримують шляхом використання асиметричних целюлозних структур з гідроксильними групами полісилоксанів з галогенангідридними, сульфанілгалогенідними або фосфорилгалогенідними групами [27].

Серйозні системні дослідження зі створення сучасних УФ-мембран третього покоління проводяться в даний час в Китаї [28]. Існує метод модифікації полівініліденфторидних мембран шляхом опромінення обробленою плазмою, суміщенням з металовмісними компонентами та проведенням хімічної обробки. Мембрани призначені для використання в різних галузях, зокрема харчової промисловості. Розроблено нові первапараційні мембрани, що являють собою композиційні полідиметилсилоксанкерамічні мембрани з високою швидкістю поділу випаром водно-етанольних сумішей. Мембрани виготовляють нанесенням шару полідиметилсилоксану товщиною 5...10 мкм на пористу трубчасту керамічну підкладку з ZnO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Швидкість поділу збільшується з підвищенням температури та концентрації етанолу у суміші. Авторами запропоновано оптимальні умови поділу водно-етанольних сумішей [29].

В даний час основне завдання фундаментальних досліджень в області мембранної техніки полягає не тільки у створенні нових методів виготовлення, але й у розробці мембран нових поколінь з структурою, що цілеспрямовано формується. Створення мембран з бар'єрними, доскональними структурою шарами, товщина яких порівнянна чи перевищує лише кілька разів товщину біологічних мембран, може кардинально змінити весь вигляд мембранної технології [30]. У цьому випадку слід очікувати експоненціальну залежність констант вибіркового перенесення від товщини мембрани при реалізації досить великих за величиною потоків, що проходять через мембрану. Роботи в цьому напрямі тільки розпочато, але вже є певні результати. У Японії розроблені анізотропні мікропористі фільтруючі мембрани, які забезпечують можливість строго вибіркового фільтрування завдяки гідрофільним властивостям селективного шару. У США розроблено проникну мембрану для селективного видалення фосфатних аніонів [31]. Молекулярна мембрана містить поперечно-шитую полімерну матрицю з розташованими в ній порами і селективні ділянки на внутрішній її частині, які забезпечують підвищену проникність фосфатних аніонів.

Обираючи мембранні елементи для обробки харчових рідин потрібно розуміти, що неорганічні УФ-мембрани характеризуються широким діапазоном діаметрів пор і зазди гідрофобні, то органічні — володіють більш вузьким розподілом пор за діаметром і можуть бути як гідрофобними так і гідрофільними (табл. 2).

**Таблиця 2** — Характеристики найбільш поширених ультрафільтраційних мембран (складено авторами на основі [21])

№ п/п	Матеріал	Гідрофільність/ гідрофобність	Розмір пор, мкм/ молекулярне відсікання, кДа
1	C/CA	Виражено гідрофільні	0,15–0,22 мкм 3–100 кДа
2	PES, PVDF, PS, PAN	Гідрофобні, легко гідрофілізуються	0,16–0,2 мкм 10–100 кДа
3	PE, PP	Гідрофобні, погано гідрофілізуються	0,1– 0,2 мкм 5–50 кДа
4	Кераміка/ Металокераміка	Гідрофобні, погано гідрофілізуються	0,1– 0,5 мкм 5–200 кДа

З матеріалів, викладених у цьому розділі, можна дійти невтішного висновку, що першочергові завдання подальшого розвитку мембранної науки будуть пов'язані передусім з пошуком нових шляхів створення мембранних матеріалів, які забезпечують підвищену ефективність поділу, зокрема ультрафільтраційного. Створенням нових типів мембран активно займаються вчені у всьому світі. На жаль, даних щодо розробки сучасних типів УФ-мембран в Україні у вивчених нами літературних джерелах виявлено не було.

Однак такі розробки є в Білорусі. Інститутом фізико-органічної хімії НАН Білорусії випускаються напівпроникні помірно гідрофільні УФ-мембрани типу ПАН, які успішно можуть бути використані в баромембранних технологіях харчових виробництв нашої країни [22]. На жаль, відомості про їх характеристики дуже обмежені, а рекомендації щодо їх використання у харчових технологіях відсутні взагалі, що зумовлює необхідність проведення додаткових досліджень щодо визначення їх фізико-хімічних характеристик та підготовки практичних рекомендацій щодо їх використання у харчових галузях промисловості, зокрема, при переробки високомолекулярних харчових рідин як тваринного, так і рослинного походження.

**Висновки.** Таким чином, для удосконалення процесових та технічних аспектів мембранної обробки харчових рідин рослинного та тваринного походження необхідно здійснити підбір напівпроникних мембран в залежності від характеристик технологічного процесу та виду сировини. Тому в дослідженні було виявлено сучасну загальну класифікацію існуючих напівпроникних мембран, що використовуються на підприємствах харчової та переробної промисловості в усьому світі. Представлено характеристики найпоширеніших у використанні напівпроникних мембран та наведено напрямки удосконалення мембранних елементів з метою розробки нових технічних рішень, що підвищить продуктивність процесів розділення харчових рідин.

### Список літератури

1. Berk Z. Food process Engineering and Technology. USA: Elsevier, 2009. 605 p.
2. Cheang B., Zydney A.L. A two-stage ultrafiltration process for fractionation of whey protein isolate. *Journal of Membrane Science*. 2004. Vol. 231. №1–2. pp. 159–167.
3. Поляков Ю. С. Мембранное разделение в тупиковых половолоконных фильтрах при постоянном трансмембранном давлении. *Теоретические основы химической технологии*. 2005. Т. 39/ № 5. С. 499–506.
4. Brennan J.G., Food processing handbook, Weinheim. UK: Wiley-VCH, 2006. 582 p.
5. 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.
6. 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.
7. Castro-Muñoz, R.; Barragán-Huerta, B. E.; Fíla, V.; Denis, P. C.; Ruby-Figueroa, R. Current role of membrane technology: From the treatment of agro-industrial by-products up to valorization of valuable compounds. *Waste Biomass Valoriz*. 2017. pp. 1–17.
8. 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. Вип. 179. С. 139–145.
9. Тамин А. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов. М. : Профессия, 2016. 416 с.
10. Drioli E., Ali A., Macedonio F. Membrane operations for process intensification in Desalination. *Membrane Desalination*. 2017. № 7(1). pp. 70–100.
11. Yammine S., Rabagliato R., Vitrac X., Peuchot M. M., Ghidossi R. Selecting ultrafiltration membranes for fractionation of high added value compounds from grape pomace extracts. *OENO One*. 2019. Vol. 53. No. 3. pp. 487–497.
12. Брик М. Т. Енциклопедія мембран. Т. 2. Київ : Києво-Могилянська академія, 2005. 546 с.
13. Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor / G. Deinychenko, Z. Mazniak, D. Kramarenko, V. Guzenko. *Ukrainian Food Journal*. 2015. Vol. 4. Iss. 2. pp. 328–334.
14. Брик М. Т. Енциклопедія мембран. Т. 1. Київ : Києво-Могилянська академія, 2005. 658 с.
15. Wei J., Helm G. S., Corner-Walker N., Hou X. Characterization of a non-fouling ultrafiltration membrane. *Desalination*. 2006. Vol. 192. pp. 252–261.

16. Peinemann V., Pereira Nunes S., Giorno L. Membranes for food applications. Borchester. UK : Wiley-VCH, 2011. 264 p.
17. Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г. Мембранні процеси в технології комплексної переробки сироватки : монографія. Київ : НУХТ, 2013. 153 с.
18. 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.
19. Lau W. J., Ismail A. F., Matsuura T. and etc. Advanced materials in ultrafiltration and nanofiltration membranes / Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological. Abingdon: Taylor & Francis Group, LLC, 2015. pp. 7–34.
20. Goma H. G., Rao S. Analysis of flux enhancement at oscillating flat surface membranes. *Journal of Membrane Science*. 2011. Vol. 374. pp. 59–66.
21. Пашенко Б. С. Закономірності мембранного розділення дисперсних систем з урахуванням структурно-механічних параметрів фільтрувальних елементів та осаду: дис... канд. техн. наук: 05.18.12. Київ: НУХТ, 2020. 199 с.
22. Гафуров О. В. Усовершенствование процесса ультрафильтрации белково-углеводного молочного сырья и его аппаратное оформление: дис... канд. техн. наук: 05.18.12. Харьков: ХГУПТ. 256 с.
23. Дейниченко Г. В., Мазняк З. О., Гафуров О. В. Аналіз конструкцій мембранних модулів на основі капілярних мембран. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2010. Ч. 2. № 10(152). С. 90–92.
24. Lutz H. Ultrafiltration for Bioprocessing. United Kingdom : Woodhead Publishing, 2015. 244 p.
25. Lobasenko V., 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.
26. Drioli E., Giorno L. Membrane operations: innovative separations and transformations : monography. Weinheim, UK: Wiley-VCH, 2009. 578 p.
27. 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.
28. Бубела Г. С., Коновалова В. В., Колесник І. С., Бурбан А. Ф. Модифікування поверхні полівініліденфлуоридних мембран поліетиленіміном. *Himia, Fiyika ta Tachnologia*. 2022. V. 13. № 1. pp. 94–104.
29. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. Membrane Cleaning. Expanding Issues in Desalination. 2011. pp. 3–84.
30. Пашенко Б. С., Штефан Є. В., Литвиненко О. А. Перспективні матеріали для фільтраційних мембран харчової промисловості. *Харчова промисловість*. 2016. № 20. С. 123–129.
31. Hu K., Dickson J. M. Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. Oxford : Wiley Blackwell, 2015. 269 p.

### References

1. Berk, Z. (2009). Food process Engineering and Technology. USA, Elsevier, 605 p.
2. Cheang, B., Zydney, A.L. (2004). A two-stage ultrafiltration process for fractionation of whey protein isolate, *Journal Membrane Science*, V. 231, № 1–2, pp. 159–167.
3. Polyakov YU.S. (2005). *Membrannoe razdelenie v tupikovykh polovolokonnykh filtrah pri postoyannom transmembrannom davlenii* [IMembrane separation in dead end hollow fiber filters at constant transmembrane pressure]. *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii* [Theoretical foundations of chemical technology], v. 39, no. 5, pp. 499–506.
4. Brennan J.G. (2006). Food processing handbook. Weinheim, UK, Wiley-VCH, 582 p.
5. 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.



6. Zolotukhina, I. V. (2021). *Naukove obgruntuvannja tekhnologij napivfabrykativ na osnovi ciljovogho vykorystannja nutrijentiv bilkovo-vughlevodnoji 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.
7. Castro-Muñoz, R., Barragán-Huerta, B., Fíla, V., Denis, P., Ruby-Figueroa, R. (2017). Current role of membrane technology: From the treatment of agro-industrial by-products up to valorization of valuable compounds. *Waste Biomass Valoriz.* 2017, pp. 1–17.
8. Nekoz, O. I., Litvinenko, O. A., Pashchenko, B. S. (2016). *Intensyfikaciya texnologiyi vodoochyshtennya dlya xarchovyx pidpryyemstv* [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.
9. Tamin, A. (2016). *Membrannye tehnologii v proizvodstve napitkov i vina* [Membrane technologies in the production of beverages and wine], Moscow, Professiya, 416 p.
10. Drioli, E., Ali, A., Macedonio, F. (2017). Membrane Operations for Process Intensification in Desalination. *Membrane Desalination*, 7(1), pp. 70–100.
11. Yammine, S., Rabagliato, R., Vitrac, X., Peuchot, M. M., Ghidossi, R. (2019). Selecting ultrafiltration membranes for fractionation of high added value compounds from grape pomace extracts. *OENO One*, V. 53. no. 3. pp. 23–43.
12. Brik, M. T. (2005). *Enciklopediya membran* [Encyclopedia of membranes], vol. 2, Kiyiv, Kiyev-Mogilyanska akademiya, 546 p.
13. Deinychenko, G., Mazniak, Z., Kramarenko, D. Guzenko, V. (2015). Determination of ultrafiltration membranes shrinkage factor. *Ukrainian Food Journal*, 4, 2, pp. 328–334.
14. Brik, M.T. (2005). *Enciklopediya membran* [Encyclopedia of membranes], vol. 1, Kiyi, Kiyev-Mogilyanska akademiya, 658 p.
15. Wei, J., Helm, G. S., Corner-Walker, N., Hou, X. (2006). Characterization of a non-fouling ultrafiltration membrane. *Desalination*, vol. 192, pp. 252–261.
16. Peinemann, V., Pereira Nunes, S., Giorno, L. (2010). *Membranes for food applications*, Borchester, UK, Wiley-VCH, 264 p.
17. My'ronchuk, V. G., Zmiyevs'kyj, Yu. G. (2013), *Membrani procesy v texnologiyi kompleksnoyi pererobky syrovatky* [Membrane processes in technology of whey processing complex], Kyiv, NUXT, 126 p.
18. Milić, J. K., Petrinić, I., Goršek, A., Simonič, M. (2014). Ultrafiltration of oilin-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach. *Central European Journal of Chemistry*, no. 12(2), pp. 242–249.
19. Lau, W.J., A. Ismail, F., Matsuura, T. (2015). Advanced materials in ultrafiltration and nanofiltration membranes. *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological*, Abingdon, Taylor & Francis Group, LLC, pp. 7–34.
20. Gomaa, H., Rao, S., (2011). Analysis of flux enhancement at oscillating flat surface membranes. *Journal of Membrane Science*, no. 374, pp. 59–66.
21. Pashchenko, B. S. (2020). *Zakonomirnosti membrannogo rozdilennya dispersnih sistem z urahuvannyam strukturno-mehanichnih parametriv filtruvalnih elementiv ta osadu* [Patterns of membrane separation of dispersed. PhD in Engineering sciences thesis], Kii, NUHT, 256 p.
22. 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.
23. Deinychenko, G., Mazniak, Z., Gafurov, O. (2010). *Analiz konstrukcij membrannih moduliv na osnovi kapilyarnih membran* [Analysis of the design of membrane modules based on capillary membranes]. *Visnyk Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya* [Bulletin of Volodymyr Dahl Khidnoukrainian National University], vol. 2, no. 10(152), pp. 90–92.



24. Lutz, H. (2015). *Ultrafiltration for Bioprocessing*, United Kingdom, Woodhead Publishing, 244 p.
25. 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.
26. Drioli, E., Giorno, L., (2009). *Membrane operations: innovative separations and transformations*. Weinheim, UK, Wiley-VCH, 531 p.
27. 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.
28. Bubela G.S., Konovalova V.V., Kolesnik I.S., Burbán A.F. (2022). *Modifikuvannya poverhni polivinilidenfluoridnih membran polietileniminom* [Modification of the surface of polyvinylidene fluoride membranes with polyethyleneimine]. *Himia, Fiyika ta Tachnologia*, no. 13(1), pp. 94–104.
29. Arnal J. M., García-Fayos B., Sanch M. (2011). *Membrane Cleaning. Expanding Issues in Desalination*. pp. 3–84.
30. Pashhenko, B. S., Shtefan, Ye.V., Litvinenko, O.A. (2016). *Perspektivni materialy dlya filtracijnih membran harchovoyi promislivosti* [Promising materials for filtration membranes of the kharchevo industry]. *Harchova promislivost* [Food industry], no. 20, pp. 123–129.
31. Hu K., Dickson, J. M. (2015). *Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation*. Oxford, Wiley Blackwell, 269 p.

**Objective.** *The purpose of the article is to identify new types of membranes and membrane elements for improving the membrane equipment of the dairy industry.*

**Methods.** *The article uses generally accepted theoretical and combined methods of information analysis using modern computer programs. On the basis of experimental studies and own developments, the characteristics of the membranes were provided by the methods of comparative and systematic analysis. In order to research new types of membranes and the peculiarities of their structure, information sources on the selected topic were analyzed: monographs, articles, encyclopedias, patents, dissertations.*

**Results.** *The results of analytical studies on the selection of membranes and membrane elements for the treatment of food liquids, which are widely used in various branches of the food and processing industry, are presented. The classification of modern types of membrane elements used for processing food liquids is presented, depending on the needs of food and processing industry enterprises. The technological characteristics of inorganic and organic semipermeable membranes, which are widely used in food and processing industries, are given. Examples of innovative developments of semipermeable membranes are given for improving the process aspects of processing food liquids of animal and plant origin and increasing the productivity of membrane equipment. A classification of modern directions of improvement of various types of membranes has been developed according to the latest global research. A classification of modern directions of improvement of various types of semipermeable membranes has been developed according to the latest global research and innovative developments. New methods for improving the development of new semipermeable membranes in accordance with global requirements and European standards have been identified. The obtained results can be used in the further formation of theoretical and experimental studies during the development of new equipment for membrane separation of secondary dairy raw materials and extracts of plant raw materials at food industry enterprises.*

**Key words:** *membrane, process, element, processing, structure, fluid, nutrition, use.*

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-45-2-88-98

УДК 981.5:(621.565.92:339.372.5)(045)

*Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор<sup>1</sup>**Никифоров Р. П., канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>**Коренець Ю. М., старший викладач<sup>1</sup>**Орел А. С., здобувач ОС бакалавр<sup>1</sup>*

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

### АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ХОЛОДИЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ СУПЕРМАРКЕТУ

UDC 981.5:(621.565.92:339.372.5)(045)

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science,  
Professor**Nykyforov R. P., PhD in Engineering sciences,  
Associate Professor**Korenets Yu. M., Senior Lecturer**Orel A. S., A graduate of a bachelor's degree*

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

### AUTOMATED CONTROL SYSTEMS SUPERMARKET REFRIGERATION EQUIPMENT

**Мета.** Метою роботи є розробка концептуальної моделі автоматизованої системи управління холодильним обладнанням супермаркету з вбудованими робототехнічними комплексами для забезпечення населення територій з вираженням техногенним навантаженням високоякісними продуктами харчування в режимі реального часу.

**Методи.** У статті застосовано експертні методи досліджень у комплексі з методами імітаційного моделювання. Поставлені в статті задачі теоретичного, методологічного і практичного характеру, пов'язані зі створенням багаторівневих комплексів автоматизованого управління процесами холодозабезпечення супермаркетів, вирішені з використанням системного підходу, а саме, загальних принципів теорії систем, теорії нейронних систем, елементів теорії систем нечіткого керування, елементів теорії штучного інтелекту, методологічних основ проектування автоматизованих систем підтримки і прийняття рішень, основних положень теорії систем автоматизованого управління, в тому числі в сфері торгівлі і продовольчого забезпечення населення.

**Результати.** Запропоновано автоматизовану систему управління холодильним обладнанням супермаркету з трирівневою оцінкою її роботи: верхнього рівня з сучасними інтелектуальними системами, промисловим Інтернет-речей, SCADA ERP-системами з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проектування ситуаційних кімнат; середнього операційного рівня MES-систем і проектування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету та роботи типу TX SCARA, які поповнюють товари на полицях і відстежують їх наявність; нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів адаптивних систем та виконавчих механізмів.

Визначено переваги нечітких способів керування, що відносяться до категорії ІСУ холодопостачанням, які полягають в можливості реалізації будь-якого нелінійного алгоритму керування, необхідного для забезпечення процесу в умовах наявності хоча б приблизного або неповного опису об'єкту керування за умов обмежених обчислювальних потужностей.

Визначено напрямки подальших досліджень, що будуть спрямовані на конкретизацію розробленої концепції, впровадження та перевірку в реальних умовах проекту автоматизованої системи управління технологічними процесами холодильного обладнання супермаркету.

Надійшла до редакції 15.10.2022

© В. П. Хорольський, Р. П. Никифоров,  
Ю. М. Коренець, А. С. Орел, 2022

**Ключові слова:** супермаркет, холодильне обладнання, автоматизована система управління, нечітка система керування, нечітка логіка, робототехнічний комплекс

**Постановка проблеми.** Важливим питанням логістики охолодженої та замороженої продукції є її зберігання та реалізація в супермаркетах. Головними завданнями при цьому можуть бути визначені [1]:

— забезпечення якості та безпеки продукції за рахунок її моніторингу та контролю в реальному масштабі часу;

— зручність і ефективність виробництва та зберігання охолоджених і заморожених продуктів харчування;

— ефективний захист продукції від псування під час транспортування і зберігання;

— використання технологій енергозберігання;

— мінімізація шкідливого впливу на довкілля за рахунок запобігання викидам в атмосферу CO<sub>2</sub> і холодоагентів, що можуть впливати на озоновий прошарок Землі.

Для реалізації комплексного підходу до виконання всіх визначених задач доцільно розробити проєкт автоматизованої системи управління холодильним обладнанням (АСУ-ХО) супермаркету з вбудованими робототехнічними комплексами (РТК).

При цьому для кожної групи продуктів харчування, що потребують охолодження та/або заморожування, необхідно розробити особливу конструкцію роботів: робототехнічних інтенсифікаторів та контролерів.

Важливим елементом проєкту стане система комп'ютерного моніторингу технологічного обладнання супермаркету з підсистемами розпізнавання аварій та аварійних ситуацій [2].

При цьому найбільш прогресивним варіантом реалізації адаптивних систем безпечної експлуатації холодильних установок буде побудова нечітких систем керування (НСК) на базі нечіткої логіки [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При проєктуванні робототехнічних комплексів супермаркетів широкого застосування у вітчизняній й закордонній практиці сьогодні набули роботи японського виробництва TX SCARA [4], які керуються за допомогою штучного інтелекту (ШІ). Вони відстежують наявність товару на полицях і здатні поповнювати запас товарів в режимі реального часу. З автоматизованих робочих місць (АРМ) супермаркету до таких роботів можна підключитись дистанційно через гарнітуру віртуальної реальності. Роботи TX SCARA використовують хмарний сервіс Microsoft та ШІ-платформу Nvidia Isaac [5]. Як показали експертні дослідження, японські роботи TX SCARA можуть замінити людину у 98% випадків — вони самостійно розвантажують контейнери зі замороженими продуктами та розкладають їх по полицях [4]. Важливими операціями робота в супермаркеті є: оцінка вартості кошика з покупками; перекладання товарів в пакет.

У той же час важливим елементом проєктування такого супермаркету є використання робототехнічних комплексів в системах контролю і керування холодопостачанням холодильних камер, холодильних вітрин за допомогою компресорних установок холодильних машин високої продуктивності [6, 7, 8].

Реалізація таких умов можлива за допомогою холодильних вітрин у дизайні DIAGONAL, що передбачає їх оснащення енергозберігаючими дверима Remis (Німеччина) і стабілізаторами повітряного потоку [9, 10].

Для заморожених продуктів в таких системах можуть встановлюватись комбіновані пристінні вітрини Nautilus Gombi з двома автономними об'ємами для демонстрації продуктів.

Важливим елементом РТК в супермаркетах можуть бути технологічні апарати для доведення заморожених напівфабрикатів (наприклад, хлібобулочних виробів типу бекерай) до стану кулінарної готовності та їх пакування.

Таким чином, одним із можливих проєктних рішень в процесі вибору холодильного обладнання супермаркету може бути використання енергоефективних холодильних камер і повітроохолоджувачів Guntner (Німеччина), мультикомпресорних установок на

компресорах Bitzer (Німеччина), системи утилізації тепла конденсації, повітряного конденсатора Guntner (Німеччина) [11].

У процесі підготовки проекту побудови АСУХО супермаркету доцільно враховувати такі критерії якості її функціонування [1]:

1. Величину приведених затрат:

$$\Phi_1 = C + E_n \cdot K + m_n \cdot P \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $C$  — собівартість функціонування АСУТП підприємств з РТК;  $E_n$  — нормативний коефіцієнт економічної ефективності;  $K$  — капітальні затрати на створення АСУХОС;  $m_n$  — норматив ефективності трудових ресурсів;  $P$  — кількість персоналу АСУХОС.

Якщо  $C_1$  і  $C_2$ ,  $K_1$  і  $K_2$  — собівартість і затрати різних варіантів щодо реалізації АСУТП, то річний економічний ефект можна визначити за формулою:

$$\Phi_1 = C_2 - C_1 + E_n(K_2 - K_1) + m_n(P_2 - P_1). \quad (2)$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$\Phi_2 = \Pi/K \rightarrow \max, \quad (3)$$

де  $\Pi$  — прибуток від упровадження АСУТП.

Термін окупності капітальних вкладень:

$$\Phi_3 = K/\Pi \rightarrow \min. \quad (4)$$

Критерії якості локальних функцій АСУТП:

1.  $CO_2 \rightarrow \min$ , при заданих значеннях надійності і довговічності холодильного устаткування та технологічного обладнання.

2.  $E_{енерг} \rightarrow \max$ , при заданих значеннях енергоефективності холодильного устаткування та технологічного обладнання.

3.  $Q_{ном} \rightarrow Q_{омт}$ .

У процесі проектування архітектури АСУТП супермаркету також потрібно провести:

1) аналіз функціональної схеми апаратно-програмного комплексу АСУТП супермаркету;

2) дослідження впливу збурення на систему виробничого, логістичного, торговельного процесів та визначення технологічних параметрів контролю

3) оцінку параметрів керування холодопродуктивністю холодильних машин, холодильного обладнання, визначення датчиків та систем контролю якості замороженої та охолодженої продукції;

4) аналіз пристроїв спряження нижнього, середнього та верхнього рівнів керування, оцінку потужність MES-системи, мікропроцесорів верхнього, середнього і локальних систем нечіткого керування компресорними установками, конденсаторами тощо;

5) аналіз бази даних, бази знань, бази моделей інтелектуальної системи керування процесами, визначення основних способів уявлення знань про процеси охолодження та заморожування продукції, оцінку інформативності опису технологічних процесів щодо розпізнавання аварійних ситуацій та аварій;

6) синтез задач моніторингу параметрів якості продукції та параметрів  $CO_2$ ;

7) аналіз моделі, що описує задану цільову траєкторію управління холодильним обладнанням супермаркету в просторі станів.

Інформаційне забезпечення РТК в основній його частині складається з [1]:

1) інформаційної структури РТК, яку виконано у вигляді таблиць ТА/АБО графа;

2) організації бази даних (БД) і бази знань (БЗ), а саме визначенні структури і способу доступу до даних і знань;

3) відомостей сигналів і кодів щодо взаємодії з оператором РТК і зовнішніми системами;

4) відомостей форм документів ТА/АБО, відеограм і макетів форм, які виведені для персоналу на пристрої друку або інформаційні дисплеї;



5) форматів даних і інструкцій щодо режиму обміну для кожного зовнішнього інтерфейсу;

6) вимог до мов програмування та редагування програм різного призначення і, в першу чергу, до мов спілкування персоналу з пристроями цифрового управління (ПФУ) РТК;

7) системи класифікації і кодування даних.

Етап постановки задач математичного забезпечення АСУТП супермаркету пов'язаний з математичним описом фізичних процесів охолодження або заморожування продуктів харчування; транспортування охолоджених/заморожених продуктів харчування в холодильних апаратах різного призначення; моделювання процесів холодопостачання; оцінки параметрів холодопродуктивності технологічної ланки холодильного обладнання супермаркету; траєкторій руху матеріальних вхідних і вихідних потоків сировини, градієнтів, напівфабрикатів і готових продуктів щодо оцінки їх якості в масштабі реального часу.

Алгоритмічне забезпечення АСУТП підприємства включає алгоритми керування технологічними процесами виробництва, транспортування, зберігання охолоджених і заморожених продуктів, холодопостачання холодильного обладнання; алгоритми захисту технологічного обладнання від аварійних режимів роботи холодильного обладнання та аварій; алгоритми оцінки якості продукції, енергоефективності, мінімізації впливу параметрів CO<sub>2</sub> на навколишнє середовище тощо.

До складу основних функціональних блоків АСУТП супермаркету віднесемо: програмне забезпечення, алгоритми адаптивного та нечіткого керування, MES-системи оперативного керування, ERP-систем верхнього рівня управління, Промисловий Інтернет-речей, нейромережеві системи моніторингу CO<sub>2</sub>, різні види діагностики технологічного обладнання, ІПВ — інтелектуальні пристрої вимірювання якості продукції, АРМ-оператора(ів).

Верхній рівень з МІКРО-ЕОМ буде представлено ЦІУ — центром інтелектуального управління. У якості мікропроцесорів в РТК пропонуємо використовувати контролери SIMATIC S7 з інтелектуальними модулями введення/виведення. Ці модулі забезпечені вбудованими мікропроцесорами і можуть автономно виконувати критичні за часом виконання завдання, підтримуючи зв'язок з процесором за допомогою власних ввідів-виходів. Використання інтелектуальних модулів дозволить суттєво розвантажити центральний процесор, використовуючи його обчислювальні можливості для рішення оптимізації параметрів продуктивності технологічного обладнання, мінімізації викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу тощо.

У багаторівневій АСУТП супермаркету з вбудованими РТК доцільно виокремити декілька підсистем з особливими вимогами щодо швидкодії та надійності. До таких підсистем віднесемо, наприклад, такі процеси: діагностику стану холодильного обладнання та ліній виробництва замороженої продукції; реалізацію задач і функцій оперативного планування і керування процесами заморожування, енергопостачання, водопостачання, реєстрації аварійних ситуацій тощо.

У процесі схематичного синтезу проєкту АСУТП супермаркету необхідне визначення потужності центрального мікропроцесора SIMATIC S7, ERP- та MES-систем верхнього й оперативного рівнів та його інтерфейсу з іншими мікропроцесорами. При цьому слід враховувати, що загальною умовою функціонування мікропроцесорів є виконання функцій оброблення, збереження, обміну і управління цими процесами над трьома видами інформації: даними, командами та адресами.

Оброблення інформації можна представити рядом функцій: логічною, арифметичною і спеціальною (підсилення, перетворення кодів, шифрування-дешифрування тощо) Функція обміну виконує обмін інформацією як всередині процесора, так і з зовнішніми пристроями. Функцію збереження можна представити у вигляді сукупності функцій оперативного або надоперативного збереження вхідної, проміжної та кінцевої інформації, а також функцією тривалого збереження з можливістю оновлення інформації.

Під інформаційними інтерфейсами будемо розуміти сукупність програмно-апаратних засобів, що забезпечують взаємодію процесорів з функціональними блоками при-

строїв керування, іншими процесорами або із зовнішніми пристроями. До інформаційних інтерфейсів відносять пристрої введення/виведення, які забезпечують зв'язок з людиною-оператором. З метою зменшення вартості проекту АСУТП супермаркету бажано максимально уніфікувати інтерфейси за усіма видами забезпечення: інформаційному, програмному, апаратному. Будемо розділяти інтерфейси на аналогові та цифрові. Аналогові інтерфейси проектують як електричні чотириполюсники. Цифрові інтерфейси поділяють на паралельні і послідовні. Уявлення цифрових даних, кожному біту яких виділена окрема лінія шини, називають паралельним подвійним числовим кодом (ПЧК). Передачу цього коду виконують одночасно на всіх визначених лініях.

У супермаркетах з метою використання ІоТ пропонуємо використовувати послідовні інтерфейси, які здатні вирішувати задачі, як зовнішні по відношенню до пристрою зв'язку (Ethernet), а саме інтерфейс RS-485.

Процес моделювання РТК розпочинається з організації системних досліджень моделей технологічних процесів заморожування і охолодження продуктів у холодильних камерах, холодильних вітринах, прилавках-вітринах тощо та оцінки інтелектуалізації технологічних процесів на собівартості продуктів харчування. Виокремлюються інформаційні змінні, що визначають технологічні процеси заморожування, холодопродуктивність, режими роботи холодильних машин, енергоефективність холодильного обладнання. Потім будуються математичні моделі залежності заморожування від термодинамічних, теплофізичних, фізико-хімічних та фізіологічних властивостей холодоагентів.

Шляхом імітаційного моделювання можна скорегувати попередньо прийняті рішення щодо вибору потужності обладнання, продуктивності виробництва, роботів-інтенсифікаторів, роботів завантаження-розвантаження, холодильних установок, їх режимів роботи, повітряних конденсаторів, випарників, трубопроводів та апаратури контролю та вимірювання параметрів CO<sub>2</sub>.

У розділі компонування апаратної частини під час комплектації обладнанням холодильних машин було приділено окрему увагу розробці методів і алгоритмів керування двигунами технологічного обладнання та конвеєрного холодильного обладнання. Управління асинхронними двигунами технологічного обладнання, давачів, компресорних установок — це цілеспрямована зміна їх механічної потужності, а, отже, продуктивності технологічних апаратів за рахунок зміни електромагнітної енергії в його електричній частині.

Основні задачі проектування програмного забезпечення (ПЗ) АСУТП супермаркету зведені до наступних:

1. Вибір або розробка операційної системи.
2. Вибір мов програмування.
3. Структурування ПЗ у вигляді пакетів підпрограм.
4. Розробка і випуск робочої документації ПЗ.

Операційна системи (ОС) повинна функціонувати в масштабі реального часу (ОСРЧ) та з розділенням часу (ОСЧР). ОСРЧ — це операційна система, яка забезпечує виконання задач в темпі з процесом холодопостачання холодильного обладнання підприємства, вона повинна реагувати на події, які виникають в системі. А ОСЧР повинна оптимально розподіляти ресурси комп'ютера між користувачами і задачами. ОСРЧ і ОСЧР розпізнають по типу оброблення запитів, а саме: ОСРЧ — розпізнають по типу оброблених запитів, тобто ОСРЧ орієнтована на оброблення зовнішніх подій, а ОСЧР — на оброблення дій користувача. ОСРЧ є інструментом щодо створення програмного комплексу задач реального часу, а ОСЧР найчастіше розглядається спеціалістами проектною командою як набір готових до використання додатків.

У системі АСУТП супермаркету з вбудованими РТК проектна команда вирішила використовувати архітектуру ОСРЧ «клієнт-сервер», в якій ядро виконує функції диспетчера повідомлень між клієнтськими користувачькими програмами і серверами — системними сервісами, перевагами яких є підвищена надійність, більш легше налагодження і пошук помилок, проста зміна конфігурації прикладного ПЗ, більш висока стійкість до відмов.

Слід також відзначити, що автоматизована система управління технологічним обладнанням з РТК підприємства-супермаркету повинна задовольняти діючим у нашій країні міжнародним стандартам ISO-9000 та відповідати наступним показникам ефективності, значущості проєкту та повернення інвестицій.

**Метою статті** є розробка проєкту автоматизованої системи управління холодильним обладнанням супермаркету з вбудованими робототехнічними комплексами для забезпечення населення територій з вираженим техногенним навантаженням високоякісними продуктами харчування в режимі реального часу.

**Виклад основного матеріалу.** Перейдемо до виконання проєктних рішень щодо методів моніторингу холодильного обладнання супермаркету.

Об'єкт моніторингу представляє собою сукупність  $N$  багатоступеневих компресорних холодильних машин (діагностичний вузол), холодоносіїв, каналів холодопостачання, холодильних вітрин та прилавоків супермаркету. Типова система моніторингу складається із каналів розповсюдження, системи діагностики, системи датчиків, блоків узгодження, трактів керування, трактів розпізнавання, аналізаторів, блоків формування діагностичних ознак, блоку прийняття рішень, блоків оповіщення, відображення і реєстрації, блоків мережових інтерфейсів (Intranet/Internet), інформаційної бази даних і знань, блока керування і синхронізації.

Додатково пропонуємо в системі моніторингу холодильного обладнання супермаркету (вітрин, прилавоків, положення дверей холодильних камер) використати блок прийняття рішень ОПР на основі вхідного масиву діагностичних ознак і експлуатаційних даних. Останні повинні зберігатись в інформаційній системі (базі даних БД та базі знань БЗ), і саме вони будуть визначати технічний стан об'єкту моніторингу та подальші дії системи. Отже, вважаємо за доцільне на кожній острівній дільниці вітрин та прилавоків супермаркету впроваджувати сучасні системи моніторингу стану холодильного обладнання.

ОПР супермаркету в процесі контролю параметрів вібрації компресорних установок, їх температури, температури в холодильних камерах і якості продукції та за допомогою АРМ моніторингу працездатності обладнання оптимізуватиме параметри холодопостачання холодильних камер та вітрин і прилавоків супермаркету.

Робочі характеристики компресорних установок, параметри їх вібрацій можуть вказати ОПР на ознаки виходу обладнання (системи холодопостачання холодильних вітрин, прилавоків, камер, дверей холодильних камер) із ладу. Тому в автоматизованих системах управління технологічними процесами холодильного обладнання супермаркету (АСУТ-ПХОС) необхідно проєктувати системи діагностики холодильного обладнання на базі існуючих інтелектуальних систем, Промислового Інтернету-речей (ІІоТ) та систем контролю компресорного обладнання супермаркету на базі комп'ютерних систем.

Реалізацію смарт-продукції будемо виконувати за допомогою Інтернет-ресурсів в спеціально спроектованих супермаркетах з РТК холодильного обладнання, інтелектуальними роботами та острівними прилавками.

На рис. 1 презентовано розроблену систему інтелектуалізації процесів холодопостачання в АСУХОС, в якій втілені основні визначені положення алгоритму проєктування подібних систем.

Спочатку розглянемо автоматизацію процесів нечіткого керування острівними прилавками на основі холодильних вітрин. Усі супермаркети нашого регіону користуються холодильними камерами і вітринами-холодильниками, економічна робота яких може бути забезпечена лише за допомогою систем адаптивного нечіткого керування [12].

Розглянемо приклад проєктування подібних систем з використанням нечітких автоматизованих систем управління виробництвом холоду і його холодопостачанням.

У таких системах мікро-ЕОМ є «мозком» кожної холодильної вітрини, в якій розташовані високоточні системи контролю якості продукції.

Мікро-ЕОМ керує:

- регулюванням холодопродуктивності;
- сигналами щодо розморожування;

— негараздами в системі забезпечення холодопостачання.

ПЗ системи дозволяє створити інтерактивний діалог ОПР з ЕОМ. Всю інформацію мікро-ЕОМ одержує через ПЗО та спеціальні ПЛК (плати А, В) за допомогою ІШ від температурних датчиків Д1, Д2, ..., ДN кожної вітрини.

Плата В з ПЛК керує також завданням температури та інформацією про негаразди, які із нею пов'язані. Ці ПЛК керують V — реле розморожування (плата В), які в свою чергу керують групою електромагнітних пристроїв (вимкн/вмк + контактор), які знаходяться в кожній вітрині з метою забезпечення електричного розморожування. Додатковими функціями системи є: регулювання добового теплового режиму за допомогою нічних шторок або заслінок; електричне регулювання за допомогою стрічкових нагрівачів; діагностичні функції, які виконуються за допомогою ПЛК і пульта АРМ; спеціальні види повідомлень про негаразди (засолення водяних трубопроводів і т.п.); електронне узгодження роботи регулюючого вентиля і регулятора швидкості.

Реле РА на платі А сигналізує про негаразди в системі керування процесом заморожування з ПЛК (охоплює 10 видів негараздів на холодильній дільниці), сигналізує також про негаразди у машинній залі за допомогою мікро-ЕОМ та АРМ дисплея диспетчера на АРМ. АРМ диспетчерського пункту забезпечене ПЗ і довідниковою базою та оснащено друкувальними пристроями, що видають інформацію про негаразди в системі холодопостачання вітрин конкретним спеціалістам.

При розпізнаванні негараздів (що можуть бути зафіксовані та оброблені в РЧ) мікро-ЕОМ надсилає АРМ технолога й холодильщика інформацію про обслуговування тієї чи іншої холодильної дільниці супермаркету. Диспетчер-холодильщик може оцінити, виходячи із БД, можливі аварійні ситуації і відпрацювати команди дистанційного керування.

Функції дистанційного керування негараздами та дистанційного консультування підтримуються за допомогою ІШ, яка зв'язує групу плат А з інтерфейсною платою, а негаразди у машинній залі обробляються мікро-ЕОМ, що одержує інформацію з плат А, В. Інтерфейсна плата може бути продубльована в іншому приміщенні супермаркету, вона дозволить зібрати у диспетчера-холодильщика інформацію про температури і негаразди на холодильних дільницях і в машинній залі. До неї можуть бути приєднані друкувальні пристрої і модем.

Події на дільницях холодильних постів (обладнання з позитивною температурою, морозильне обладнання, холодильні камери з позитивними температурами, холодильні камери з температурами близько  $-20^{\circ}\text{C}$ ), так як і негаразди в машинній залі, передаються на АРМ диспетчера-холодильщика.

Крім цієї мікро-ЕОМ та ОПР диспетчер-холодильщик одержує всі значення параметрів постів «холоду» (температури, ознаки розморожування, перелік негараздів (неполадок), параметри регулювання і т.п.). За необхідності диспетчер-холодильщик може за допомогою ОПЗ впливати на режими роботи холодильного обладнання супермаркету. Конфігурація дистанційного керування в системі СІУ виконана на основі сучасних мікро-ЕОМ, ПЛК і інтерфейсів RS485/RS232 та АРМ диспетчера.

В АСУХОС використано бібліотеку кольорових графічних позначень для кожної холодильної вітрини (групи холодильних вітрин), а мікро-ЕОМ також керує холодопостачанням, водопостачанням та надає на дисплей АРМ диспетчеру-холодильщику в реальному масштабі часу зміни контрольованих параметрів: роботи компресорів  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$ ; параметри системи електропостачання (СЕ) тощо.

Ситуаційний інтелектуальний центр (СІЦ) супермаркету разом з АСУ, MES- та ERP-системами утворюють адміністративний рівень управління (систему верхнього рівня управління організації).

АРМ топ-менеджерів супермаркету керує бізнес-процесами, контролює в режимі реального часу грошові потоки, виконує оперативне і стратегічне планування, а також одержує інформацію через промисловий Інтернет-речей (ІоТ) та постійно підтримує зв'язок з постачальниками та споживачами продукції.

**Висновки.** Таким чином, для управління холодильним обладнанням супермаркету запропонована АСУТП з трірівневою структурою керування технологічним процесом.



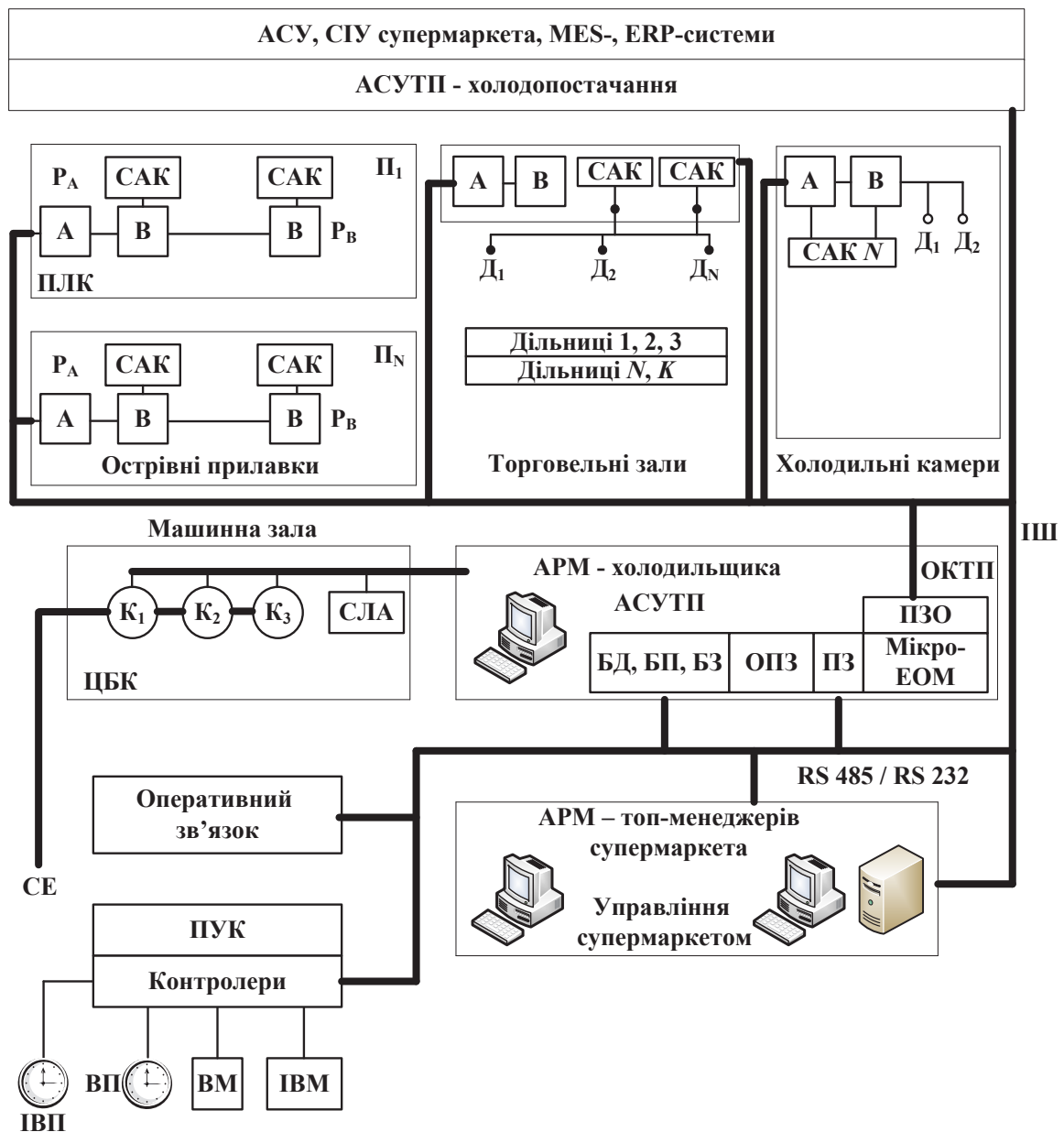


Рисунок 1 — АСУХО супермаркету:

А, В — плати ПЛК; САК — система автоматичного контролю 1, 2, N; ЦБК — центральний блок компресорів  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$ ; СЛА — система локальної автоматизації з адаптивними нечіткими регуляторами; ПЗО — пристрій зв'язку з об'єктом; СЕ — система електропостачання компресорів  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$ ; ПУК — пульт керування компресорами  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_N$ ; ОКТП — операторське керування технологічним процесом; ВП — вимірювальні прилади; ІВП — інтелектуальні вимірювальні прилади; ВМ — виконавчі механізми; ІВМ — інтелектуальні виконавчі механізми

Синтез даної системи зведено до оцінки роботи:

— верхнього рівня з сучасними інтелектуальними системами, промисловим Інтернет-речей, SCADA ERP-системами з визначенням цілей управління та визначенням змінних, бази даних, бази знань, оцінки інформаційного і програмного забезпечення, методів проектування ситуаційних кімнат;

— середнього операційного рівня MES-систем і проектування робототехнологічних комплексів холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркету та роботи типу TX SCARA, які поповнюють товари на полицях і відстежують їх наявність;

— нижнього рівня керування технологічними процесами з вибором конфігурації регуляторів адаптивних систем та виконавчих механізмів.

До переваг нечітких способів керування, що відносяться до категорії ІСУ холодопостачанням, можна віднести наступні можливості:

— реалізація будь-якого нелінійного алгоритму керування, необхідного для забезпечення процесу;

— наявність неповного, приблизний опису ОК, а для НМ — відсутність опису;

— фазі-логіка не потребує великих обчислювальних потужностей.

Наступні дослідження будуть спрямовані на конкретизацію розробленої концепції, впровадження та перевірку в реальних умовах проекту автоматизованої системи управління технологічними процесами холодильного обладнання супермаркету.

### Список літератури

1. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2021. 312 с. ISBN 978-617-8045-18-0.

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. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления : монографія. Киев : Радиоаматор, 2008. 972 с.

4. Siegwart R., Nourbakhsh I. Introduction to Autonomous Mobile Robots. Cambridge, Massachusetts, London, England : A Bradford Book, The MIT Press, 2004. 322 p.

5. NVIDIA Isaac SDK. Rich Software Platform for AI-based Robot Development. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/deep-learning-ai/industries/robotics>.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Fricke, B., Becker, B. Energy Use of Doored and Open Vertical Refrigerated Display Cases. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. 2010. Paper 1154. URI: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1154>

10. Heidinger, G. G., Nascimento, S. M., Gaspar, P. D., Silva, P. D. (2016). Relevant parameters on the energy efficiency of closed refrigerated multideck display cases. URL: [https://www.researchgate.net/publication/308794909\\_Relevant\\_parameters\\_on\\_the\\_energy\\_efficiency\\_of\\_closed\\_refrigerated\\_multideck\\_display\\_cases](https://www.researchgate.net/publication/308794909_Relevant_parameters_on_the_energy_efficiency_of_closed_refrigerated_multideck_display_cases).

11. Демчишин В. Топ-7 енергозберігальних технологій в ретейлі. URL: <https://spar.ua/blogs/top-7-energozberigalnikh-tekhnologiy-v-riteyli>.

12. 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.

### References

1. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrennikov, V. M. (2021). *Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated control systems for the

production of smart food products], Kryvyi Rih, FOP Cherniavskiy D. O., 312 p. ISBN 978-617-8045-18-0.

2. Podmazko, I. O. (2013). *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, 20 p.

3. Hostev, V. Y. (2008). *Nechetkye rehuliatory v systemakh avtomatycheskoho upravleniya* [Fuzzy controllers in automatic control systems], Kyev, Radioamator, 972 p.

4. Siegwart, R., Nourbakhsh, I. (2004). Introduction to Autonomous Mobile Robots, Cambridge, Massachusetts, London, England, A Bradford Book, The MIT Press, 322 p. ISBN 0-262-19502-X.

5. NVIDIA Isaac SDK. Rich Software Platform for AI-based Robot Development. URL: <https://www.nvidia.com/ru-ru/deep-learning-ai/industries/robotics>.

6. Ostapenko, O. V., Zimin, O. V., Podmazko, I. O., Khmelniuk, M. G. (2016). *Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti kholodylnoi ustanovky pidprijemstva kharchovoi promyslovosti* [Power efficiency opportunities for industrial refrigeration system of food processing enterprise], *Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia* [Refrigeration Engineering and Technology], 52(6), pp. 4–10. doi: 10.15673/ret.v52i6.464.

7. Hryshchenko, V. O. (2018). *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, Kompryntp UBL, 248 p.

8. 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. Seriiia «Tekhnichni nauky»* [Bulletin of KhNU. Series «Technical Sciences»], 1(305), pp. 247–255. doi: 10.31891/2307-5732-2022-305-1-247-255.

9. Fricke, B., Becker, B. (2010). Energy Use of Doored and Open Vertical Refrigerated Display Cases. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1154. URI: <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/1154>.

10. Heidinger, G. G., Nascimento, S. M., Gaspar, P. D., Silva, P. D. (2016). Relevant parameters on the energy efficiency of closed refrigerated multideck display cases. URL: [https://www.researchgate.net/publication/308794909\\_Relevant\\_parameters\\_on\\_the\\_energy\\_efficiency\\_of\\_closed\\_refrigerated\\_multideck\\_display\\_cases](https://www.researchgate.net/publication/308794909_Relevant_parameters_on_the_energy_efficiency_of_closed_refrigerated_multideck_display_cases).

11. Demchyshyn, V. (2021). Top-7 enerhozberihalnykh tekhnolohii v reteili [Top-7 energy-saving technologies in retail]. URL: <https://spar.ua/blogs/top-7-energozberigalnikh-tekhnologiy-v-riteyli>

12. 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. Seriiia «Tekhnichni nauky»* [Bulletin of KhNU. Series «Technical Sciences»], 6(303), pp. 264–271. doi: 10.31891/2307-5732-2021-303-6-264-271.

**Objective.** The aim of the work is to develop a conceptual model of an automated control system for supermarket refrigeration equipment with built-in robotic complexes to provide the population of territories with a pronounced technogenic load with high-quality food products in real time.

**Methods.** The article uses expert research methods in combination with simulation methods. The theoretical, methodological and practical tasks posed in the article, related to the creation of multi-level complexes for automated control of the processes of cold supply of supermarkets, are solved using a systematic approach, namely the general principles of systems theory, the theory of neural systems, elements of the theory of fuzzy control systems, elements of the theory of artificial intelligence, meth-

*odological foundations for the design of automated support and decision-making systems, the main provisions of the theory of automated control systems, including in the field of trade and food supply for the population.*

**Results.** *An automated control system for supermarket refrigeration equipment is proposed with a three-level assessment of its work: the top level with modern intelligent systems, Industrial Internet of Things, SCADA ERP systems with the definition of management goals and the definition of variables, a database, a knowledge base, an assessment of information and software, methods design of situational rooms; the middle operating level of MES systems and the design of robotic complexes for the refrigeration supply of supermarket refrigeration equipment and the operation of the TX SCARA type, which replenish goods on the shelves and track their availability; lower level of process control with the choice of configuration of adaptive systems and mechanisms regulators.*

*The advantages of fuzzy control methods related to the category of refrigeration control information systems are determined, which consist in the possibility of implementing any non-linear control algorithm necessary to ensure the process under conditions of at least an approximate or incomplete description of the control object, subject to limited computing power.*

*Directions for further research aimed at concretizing the developed concept, implementing and testing in real conditions the project of an automated process control system for supermarket refrigeration equipment are identified.*

**Keywords:** *supermarket, refrigeration equipment, automated control system, fuzzy control system, fuzzy logic, robotic complex.*



## ЗМІСТ

### СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

<i>Слащева А. В., Боднарук О. А., Жушман А. О.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ М'ЯСНИХ І РИБНИХ ПОСІЧЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ....	5
<i>Горяйнова Ю. А., Сімакова О. О., Єріс Ю. В., Кукуруза А. В., Якимчук О. О.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ КІВІ, ТОПІНАМБУРУ ТА ЦИБУЛІ-СЛИЗУНА.....	14

### ХІМІЧНІ, ФІЗИЧНІ, МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

<i>Сімакова О. О., Горяйнова Ю. А., Никифоров Р. П., Боднарук О. А., Гайдасенко О. В.</i> ВПЛИВ ДОБАВОК АМАРАНТУ БАГРЯНОГО НА ХЛІБОПЕКАРСЬКІ ЯКОСТІ ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА.....	22
<i>Слащева А. В., Золотухіна І. В., Кочерга І. А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ ЗАМОРОЖЕНОЇ ДЕСЕРТНОЇ ПРОДУКЦІЇ .....	30

### УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І АПАРАТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

<i>Дейниченко Г. В., Дмитревський Д. В., Перекрест В. В., Мороз І. А., Бражник Я. С.</i> ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ МЕМБРАННОГО РОЗДІЛЕННЯ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ.....	38
<i>Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Івашук Г. Г.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СОРТУВАННЯ ЯБЛУК ІЗ РОЗПІЗНАВАННЯМ ЇХ РІЗНОВИДІВ .....	47
<i>Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Омельченко О. В., Петрушина Ю. М.</i> ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИТУАЦІЙ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	53
<i>Цвіркун Л. О., Омельченко О. В., Цвіркун С. Л., Шилін А. С.</i> ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ЯБЛУК РІЗНОГО РІЗНОВИДУ .....	71

### РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Дейниченко Г. В., Гузенко В. В., Серебреніков Ю. О., Омельченко О. В., Буньков В. В.</i> ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ ТИПІВ МЕМБРАННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ РІДИН .....	78
<i>Хорольський В. П., Никифоров Р. П., Коренець Ю. М., Орел А. С.</i> АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ХОЛОДИЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ СУПЕРМАРКЕТ .....	88

# CONTENTS

## MODERN FOOD TECHNOLOGIES

- Slashcheva A. V., Bodnaruk O. A., Zhushman A. O.*  
DETERMINATION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS  
OF FUNCTIONAL MEAT AND FISH MINCED SEMI-FINISHED PRODUCTS ..... 5
- Goriainova I. A., Simakova O. O., Yeris Yu. V., Kukuruza A. V., Yakymchuk O. O.*  
DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL BREAD TECHNOLOGY BASED ON KIWI,  
JERUSALEM ARTICHOKE AND ONION SLIME ..... 14

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

- Simakova O. O., Goriainova Iu. A., Nykyforov R. P., Bodnaruk O. A., Gaydaenko O. V.*  
EFFECT OF PURPLE AMARANTH ADDITIVES  
ON THE BAKING QUALITIES OF WHEAT FLOUR ..... 22
- Slashcheva A. V., Zolotukhina I. V., Kocherga I. A.*  
STUDY OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS  
OF SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR FROZEN DESSERT PRODUCTS ..... 30

## IMPROVEMENT OF PROCESSES AND APPARATUS OF FOOD PRODUCTION

- Deynichenko G. V., Dmytrevskiy D. V., Perekrest V. V., Moroz I. A., Brazhnyk Y. S.*  
INTENSIFICATION OF MEMBRANE SEPARATION PROCESSES  
OF FOOD RAW MATERIALS ..... 38
- Omelchenko O. V., Tsvirkun L. O., Ivashchuk H. H.*  
OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF ENERGY-EFFICIENT  
AUTOMATED CONTROL OF THE PROCESS OF SORTING APPLES  
WITH THE RECOGNIZATION OF THEIR VARIETIES ..... 47
- Khorolskiy V. P., Korenets Yu. M., Omelchenko O. V., Petrushyna Yu. M.*  
IDENTIFICATION AND PREDICTION OF EMERGENCY TECHNOLOGICAL  
SITUATIONS OF COOLING SUPPLY OF INDUSTRIAL REFRIGERATORS  
BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE ..... 53
- Tsvirkun L. O., Omelchenko O. V., Tsvirkun S. L., Shilin A. S.*  
INCREASING RESOURCE SAVING AND OPERATIONAL EFFICIENCY  
OF APPLE SORTING DEVICE ..... 71

## DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE HIGH-EFFICIENT FOOD INDUSTRY EQUIPMENT

- Deynichenko G. V., Guzenko V. V., Serebryanikov Yu. O., Omelchenko O. V., Bunkov V. V.*  
CHARACTERISTICS OF MODERN TYPES  
OF MEMBRANE ELEMENTS USED FOR PROCESSING FOOD LIQUIDS ..... 78
- Khorolskiy V. P., Nykyforov R. P., Korenets Yu., Korenets Yu. M., Orel A. S.*  
AUTOMATED CONTROL SYSTEMS  
SUPERMARKET REFRIGERATION EQUIPMENT ..... 88

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

*Наукове видання*

**ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ  
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**№ 2 (45) 2022**

*Тематичний збірник наукових праць*

*Українською та англійською мовами*

Підписано до друку 29.12.2022 р.  
Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура «Newton C». Друк — лазерний.  
Ум. друк. арк. 11,74. Обл.-вид. арк. 10,45.  
Наклад 60 прим. Зам. № 77.

---

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