

ISSN 2786-4588 (Print)
ISSN 2786-4596 (Online)

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет



Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 6



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

ISSN 2786-4588 (Print)
ISSN 2786-4596 (Online)

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету
(протокол № 5 від 27.12.2024 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2024. Вип. 6. 266 с.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 2933 від 24.10.2024 року. Ідентифікатор медіа: R30-05565.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України від 29.06.2021 № 735 (додаток 4) журнал внесений до переліку фахових видань України категорії «Б» (спеціальності: 122 – Комп'ютерні науки та інформаційні технології; 124 – Системний аналіз; 181 – Харчові технології; 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

Редакційна колегія:

Дзюндзя О.В. – доцент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент – головний редактор; **Антоненко А.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу ПВНЗ «Київський університет культури», к.т.н., доцент; **Балихіна Г.А.** – провідний науковий співробітник відділення землеробства, меліорації та механізації апарату Президії НААН, к.т.н.; **Березовський Ю.В.** – доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., доцент; **Бровенко Т.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного і туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв, к.т.н., доцент; **Вороненко М.О.** – доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук Херсонського національного технічного університету, к.т.н., доцент; **Гончаренко А.В.** – професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету, д.т.н., професор; **Гонесенко В.** – проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи» Університету прикладних наук ISMA, Dr.sc.ing., професор (Рига, Латвійська Республіка); **Горальчук А.Б.** – професор кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Харківського державного університету харчування та торгівлі, д.т.н., професор; **Димова Г.О.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н.; **Коваленко О.О.** – завідувач кафедри біоінженерії і води Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор; **Ковальчук П.І.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., професор; **Кузьмич Л.В.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., доцент; **Кузьміна Т.О.** – професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Лобода О.М.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент; **Марасанов В.В.** – член спеціалізованої Вченої ради ДФ 67.052.003 Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Матяш Т.В.** – старший науковий співробітник, завідувач відділу інформаційних технологій та маркетингу інновацій Інституту водних проблем і меліорації НААН, к.т.н.; **Отрош Ю.А.** – начальник кафедри пожежної, профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України, д.т.н., професор; **Пневматікос Н.** – доцент кафедри будівництва Університету Західної Аттики, к.т.н., доцент (Афіни, Греція); **Романенко Р.П.** – доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету, к.т.н.; **Степанчиков Д.М.** – доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, к.ф.-м.н., доцент; **Стригунівська О.В.** – Гірничо-металургійна академія імені Станіслава Сташиця, к.т.н., доцент (Краків, Республіка Польща); **Сурьянінов М.Г.** – завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор; **Ткаченко О.Б.** – професор, завідувачка кафедри технології вина та сенсорного аналізу Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., доцент; **Турченко В.О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

UDC 004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.1>

ASPECTS OF USING NEURAL NETWORKS TO IMPROVE THE QUALITY OF IMAGES

Antonenko A. V. – PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Standardization and Certification of Agricultural
Products of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Solobaiev S. H. – Postgraduate Student at the Department
of Computer Engineering of the State University of Information
and Communication Technologies
ORCID ID: 0009-0008-6298-4777

Vostrikov S. O. – Postgraduate Student at the Department
of Computer Engineering of the State University of Information
and Communication Technologies
ORCID ID: 0009-0008-8425-8872

Balvak A. A. – Postgraduate Student at the Department
of Computer Engineering of the State University of Information
and Communication Technologies
ORCID ID: 0000-0002-6441-8225

Mishkur Yu. V. – Postgraduate Student at the Department
of Computer Engineering of the State University of Information
and Communication Technologies
ORCID ID: 00009-0004-6807-6914

Prykhodko A. P. – Master of the Interregional Academy of Personnel Management
ORCID ID: 0009-0001-2365-9903

The article presents an overview of image enhancement and noise reduction methods based on convolutional and recurrent neural networks with the addition of non-local operations blocks. These methods are widely used in various industries. In medicine, they help improve

the quality of MRI images, which, in turn, contributes to the accuracy of doctors' diagnoses. In the field of security, these technologies enable image enhancement and detail enhancement. The article covers the main available approaches to image enhancement. The article analyzes the main characteristics of the considered neural networks, as well as the scenarios in which they demonstrate the greatest effectiveness. A table with the performance of different image enhancement methods is also presented, to which the investigated method is added to evaluate its effectiveness in image enhancement. The paper emphasizes the advantages of each of these approaches and their effectiveness in different conditions. Considering the specific features of the denoising task, such as the type of noise, image type, and processing constraints, will help select the most appropriate architecture to achieve the desired result. The article also discusses the use of the non-local operations block to improve image quality. This block serves to identify global interrelationships between pixels, which contributes to better modeling of relationships between different parts of the image. Thanks to the non-local operations block, it is possible to efficiently detect long-term dependencies and contextual information, which in turn leads to improved noise disaggregation and image restoration. The article offers a comprehensive overview of image enhancement and denoising methods that use convolutional and recurrent neural networks with the addition of a non-local operations block, and also provides information on existing approaches. The information and guidelines provided in this article can be helpful in choosing appropriate methods for solving image processing tasks. The article is useful for image processing and machine learning researchers who want to understand the main differences between convolutional neural networks (CNNs) and recurrent neural networks (RNN), as well as with already known approaches to improving and reducing noise in images.

Key words: image quality, convolutional neural networks, recurrent neural networks, Non-local operations, image denoising.

Антоненко А. В., Солобаєв С. Г., Востріков С. О., Балвак А. А., Мішкур Ю. В., Приходько А. П. Аспекти використання нейронних мереж для покращення якості зображень

У статті представлений огляд методів покращення та зменшення шуму в зображеннях, які ґрунтуються на згорткових і рекурентних нейронних мережах із додаванням блоків *non-local operations*. Ці методи знаходять широке застосування в різних галузях. У медицині вони допомагають поліпшити якість МРТ-знімків, що, в свою чергу, сприяє точності діагнозу лікарів. У сфері безпеки ці технології дозволяють покращувати зображення та підкреслювати деталі. Стаття охоплює основні наявні підходи до поліпшення зображень. У статті проведено аналіз основних характеристик нейронних мереж, що розглядаються, а також сценаріїв, у яких вони демонструють найбільшу ефективність. Також представлено таблицю з результатами роботи різних методів покращення зображень, до якої додано досліджуваний метод для оцінки його ефективності у покращенні зображень. У роботі підкреслено переваги кожного з цих підходів і їхню результативність у різних умовах. Врахування специфічних особливостей завдання знешумлення, таких як тип шуму, вид зображень та обмеження обробки, допоможе вибрати найбільш відповідну архітектуру для досягнення бажаного результату. У статті також обговорюється застосування блоку *non-local operations* для підвищення якості зображень. Цей блок служить для виявлення глобальних взаємозв'язків між пікселями, що сприяє кращому моделюванню відносин між різними частинами зображення. Завдяки блоку *non-local operations* можна ефективно виявляти довготривалі залежності та контекстну інформацію, що, в свою чергу, призводить до покращення дезагрегування шуму та відновлення зображень. Стаття пропонує всебічний огляд методів покращення та знешумлення зображень, які використовують згорткові і рекурентні нейронні мережі з додаванням блоку *non-local operations*, а також надає інформацію про наявні підходи. Інформація та рекомендації, наведені в цій статті, можуть бути корисними для вибору відповідних методів для розв'язання завдань обробки зображень. Стаття є корисною для дослідників у галузі обробки зображень та машинного навчання, які хочуть ознайомитися з основними відмінностями між згортковими нейронними мережами (CNN) та рекурентними нейронними мережами (RNN), а також з уже відомими підходами до покращення і зменшення шуму в зображеннях.

Ключові слова: якість зображень, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі, *Non-local operations*, знешумлення зображень.

Introduction. Existing approaches to improve image quality. Image enhancement is the process of improving image quality [1] by removing noise, restoring detail, increasing resolution, and improving the visual experience. The main methods of improving the image:

1. Image filtering: Application of filters to improve image quality. For example, a Gaussian filter or a median filter is good for reducing image noise.

2. Image restoration: Using algorithms to restore details and remove defects in the image. It can be recovery using a deconvolution algorithm, morphological recovery algorithms

3. Resolution enhancement: Methods that aim to improve the resolution of images. For example, interpolation, super-resolution and the use of algorithms based on artificial neural networks.

4. Deep learning: Using neural networks for image enhancement. Deep neural networks can be trained to analyze images and perform tasks such as noise reduction, detail recovery, blur removal, and more.

Formulation of the problem. The relevance of research on image restoration, denoising and quality improvement will always be high, because the field of use is very broad and often very important for human health. In many scientific disciplines, including medical imaging, astronomy, geology and biology, high-quality images are a key element for analysis, research and obtaining results. They provide valuable information and help uncover new knowledge in their respective fields. MRI images are used in medicine for diagnosis and treatment, camera images for facial recognition, video surveillance for object detection, photography and graphic design for visual enhancement, and many other fields. In case of quality deterioration due to external factors, it would be good to have a quality improvement tool. In this work, a comparative analysis of approaches to image enhancement using convolutional networks (CNN) and recurrent networks (RNN) is carried out. Both approaches show adequate results and have potential for improvement.

The aim of the study. The purpose of this work is a comparative analysis of two image enhancement methods based on the use of convolutional and recurrent neural networks.

The work examines practical and theoretical aspects. In accordance with the goal, the following tasks were formed: to analyze the architectural features of the investigated networks; to compare the results of the research method based on RNN with existing methods; determine the future direction of research.

Analysis of recent research and publications. Convolutional Neural Networks (CNNs) are widely used in image restoration and are the most popular neural network for image enhancement. The vast majority of researchers [2] take it as a basis. The first CNNs were used to remove noise in images. A significant role in this multilayer perceptron (MLP) to eliminate noise. The MLP was trained to directly correlate noisy areas of an image with clean areas using a large dataset.

The next step was to apply CNN to enhance the resolution of low-resolution images. SRCNN (convolutional neural network with high resolution) presented in [3] was a breakthrough work. The key idea behind SRCNN is to train the network using a large dataset of low- and high-resolution image pairs. During the training process, the network learns to optimize its parameters to minimize the difference between the generated high-resolution image and the corresponding input image.

Using the power of deep convolutional neural networks, SRCNN achieves impressive results. Another area of use for CNN is image denoising, turning blurry images into more. Several CNN-based methods have been proposed to handle different types of blur. One well-known approach is DeblurNet. The principle of this approach is to process input frames that are located next to each other through several convolutional layers until a blurred central frame is output.

DnCNN-SR [4] became a logical development in the direction of image improvement. The author combined approaches to reduce noise and increase image resolution. This combined approach improved the quality of reconstruction by simultaneously reducing noise and increasing image resolution. Overall, CNNs have played a crucial role in improving image restoration techniques. They have demonstrated exceptional capabilities in denoising, ultra-high resolution, deblurring and other restoration tasks.

Presentation of the main research material. An interesting approach is the use of recurrent neural [5] networks in the field of image processing. The author of this article used a recurrent neural network and added a non-local operation module to improve the performance of the neural network. Recurrent Neural Network (RNN) is a powerful tool for image processing with several advantages, and in combination with Non-Local Operation, the result of work improves many times [6].

The combination of recurrent neural network (RNM) with non-local operation opens up new possibilities for image processing. Here are some of them:

1. Taking into account long-term dependencies: RNM allows the model to collect and use long-term dependencies in images, taking into account context and relationships between objects. Adding a non-local operation allows you to collect information from all positions of the image, not limited to only the local area. This helps the model better understand the relationships between different parts of the image and provides better processing quality.

2. Ability to work with variable length input images: RNM can adapt to images of different sizes, which allows processing large or small images without loss of quality. The combination with non-local operation allows the model to collect information from all parts of the image, regardless of their size. This is especially useful when we are dealing with large images or when the sizes of the objects in the image are different.

3. Overall better quality of processing: The combination of recurrent neural networks with non-local operation can lead to an improvement of the overall quality of image processing. This is explained by the fact that non-local operation allows the model to take into account the wider context and dependencies in the image, while the RNM ensures the preservation and use of this information at each processing step.

The idea of combining neural networks with additional modules is not new. The mechanisms [7, 8] for improving images considered in this work are based on the use of neural networks to which it is advisable to add a Non-Local Operation module to solve these problems.

Non-Local Operation is an element for detecting dependence in neural networks [9]. Intuitively, the non-local operation calculates the value at a point as a weighted sum of the characteristics at all positions in the input data. Based on this, you can submit images and videos to the input.

The general formula looks like [9]:

$$\gamma i = \frac{1}{C(x)} E_{\forall j} f(x_j, x_j) g(x_j) \quad (1)$$

Here, i is the index of the initial position (in space, time), the value of which needs to be calculated, and j is the index that lists all possible positions. x is the input signal (image, sequence, video) and y is the output signal of the same size as x . The pairwise function f computes a scalar (representing a relationship, such as relatedness) between i and all j . The unary function g computes the representation of the input signal at position j . The response is normalized by the coefficient $C(x)$.

Non-local operation is a flexible building block and can easily be used together with convolutional/recursive layers. It can be added to the initial part of deep neural networks,

unlike the fully connected layers that are often used at the end. Such flexibility allows building a more diverse hierarchy that combines both non-local and local information.

Based on this approach, [8] proposed the use of the Euclidean distance with a linearly embedded Gaussian kernel as a distance metric. Thus, the proposed non-local operation can be written as:

$$Z_i = \frac{1}{\delta_i(X)} \sum_{j \in S_i} \exp\{X_i W_\theta W_\psi^T X_j^T\} X_i W_g, \forall i \quad (2)$$

The proposed non-local operation can be implemented by ordinary differential operations, and thus can be trained by adding to the neural network.

Let's consider the methods of improving images based on neural networks for improving images based on the articles under study:

1. Removal of color image noise using convolutional neural networks based on Non-Local Operation

The basis is the objective function [7]:

$$E(x) = D(x, y) + \lambda J(X) \quad (3)$$

Based on the use of a neural network, the selection of parameters based on the training dataset of images is implemented.

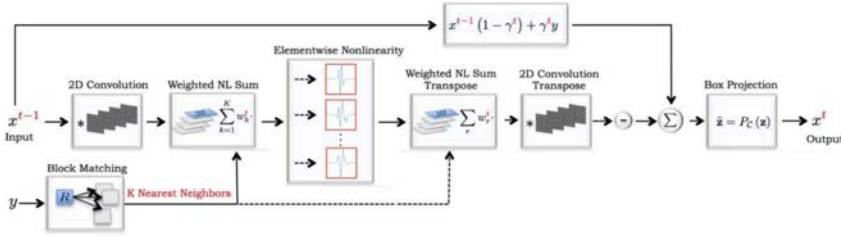


Fig. 1. Architecture of a separate stage of the proposed non-local convolutional network [7]

In [8], the block matching approach [10] using the Euclidean distance with a linearly embedded Gaussian kernel is used.

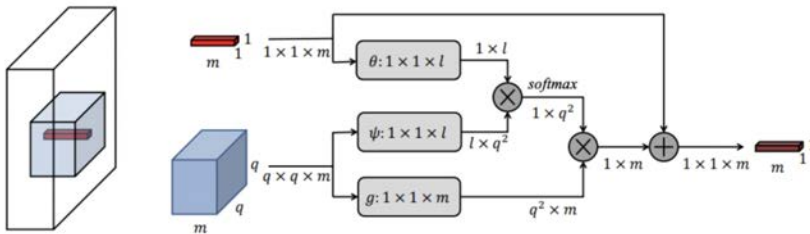


Fig. 2. Illustration of the non-local module [6]

Table 1 shows the comparative characteristics of recurrent, convolutional neural networks and multilayer perceptron according to the most important characteristics for the study.

Based on Table 2, it can be seen that convolutional and recurrent neural networks are able to cope well with the task of improving image quality. The advantage of recurrent

Table 1

Comparative table of neural networks

	Recurrent neural chain	Convolutional neural network	Multilayer perceptron
Memory	Memory usage for sequential data processing	There is no explicit memory of past inputs	There is no memory, each input is processed independently
Sharing settings	Joint weighting coefficients by time steps	Common weighting factors in spatial dimensions	There is no weight distribution, each neuron has its own set of weights
Contextual information	Captures long-term dependencies and context	Limited field of perception and local context	Lack of explicit modeling of context or dependencies
Effectiveness of noise elimination	Captures global dependencies, processes complex noise patterns	Effectively reduces noise in local areas	Limited ability to process complex noise patterns

Table 2

Performance of different image enhancement methods based on the BSD68 image dataset, with different noise levels (15, 25 and 50)

Метод	15	25	50
BM3D	31.07	28.57	25.62
WNNM	31.37	28.83	25.87
EPLL	31.21	28.68	25.67
MLP	-	28.96	26.03
CSF	31.24	28.74	-
TNRD	31.24	28.92	25.97
ECNDNet	31.71	29.22	26.23
RED	-	-	26.35
DnCNN	31.72	29.23	26.23
DDRNet	31.68	29.18	26.21
PHGMS	31.86	-	26.36
MemNet	-	-	26.35
EEDNet	31.58	28.97	26.03
NBCNN	31.57	29.11	26.16
NNC	31.49	28.88	25.25
ELDRNet	32.11	29.68	26.76
PSN-K	31.70	29.27	26.32
DWDNet	31.78	29.36	-
MWCNN	31.86	29.41	26.53
BM3D-Net	31.42	28.83	25.73
FFDNet	31.62	29.19	26.30
BRDNet	31.79	29.29	26.36
NN3D	-	-	26.42
NLRNet	31.88	29.41	26.47

networks over convolutional networks is the presence of data of previous calculations in memory. Due to this, greater efficiency is achieved in finding long-term dependencies, which greatly increases the quality of improving complex images.

Table 2 shows the results of various image enhancement methods with different levels of noise on one BSD68 dataset [11].

Table 2 highlights three methods with the best results, which include the NLRN approach under study. It demonstrates good performance because the specificity of recurrent neural networks in combination with non-local operations is well suited for image enhancement and has significant potential for improvement.

Conclusions. Thus, both convolutional networks and recurrent networks have their strengths and weaknesses in image processing and noise reduction tasks. Convolutional networks are very effective at detecting local features, which makes them more suitable for denoising small images. On the other hand, the recurrent network has the advantage of finding global dependencies due to its architectural features, which makes it suitable for denoising tasks involving sequential data and complex noise patterns. Further research can be developed in the direction of improving the Non-Local Operation of the block in order to improve the results of image processing.

BIBLIOGRAPHY:

1. Михайлов, В. С., Дослідження та розробка методів покращення зображень. 2019. <http://openarchive.nure.ua/handle/document/11968> (дата звернення: 22.08.2024).

2. Зінченко О. В., Звенігородський О. С., Кисіль Т. М., Згорткові нейронні мережі для вирішення задач комп'ютерного зору. 2022. <http://tit.dut.edu.ua/index.php/telecommunication/article/view/2417> (дата звернення: 22.08.2024).

3. Chao Dong, Chen Change Loy, Member, IEEE, Kaiming He, Member, IEEE, and Xiaoou Tang, Fellow, IEEE Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. 2015. <https://arxiv.org/pdf/1501.00092.pdf> (дата звернення: 22.08.2024).

4. Kai Zhang, Wangmeng Zuo, Lei Zhang Learning a Single Convolutional Super-Resolution Network for Multiple Degradations. 2018. https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/papers/Zhang_Learning_a_Single_CVPR_2018_paper.pdf (дата звернення: 22.08.2024).

5. Bohdan V. Chapaliuk, Yuriy P. Zaychenko Використання рекурентних нейронних мереж для автоматичної діагностики раку легенів. 2019 <http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/177906> (дата звернення: 22.08.2024).

6. Anakhov P., Zhebka V., Berkman L., Koretska V. Increasing Functional Stability of Telecommunications Network in the Depressed Zone of HPS Reservoir / Lecture Notes in Electrical Engineering, 2023, 965 LNEE, p. 214–230

7. Stamatios Lefkimmiatis Non-local Color Image Denoising with Convolutional Neural Networks. 2016. <https://arxiv.org/pdf/1611.06757.pdf> (дата звернення: 22.08.2024).

8. Ding Liu, Bihan Wen, Yuchen Fan, Chen Change Loy, Thomas S. Huang Non-Local Recurrent Network for Image Restoration. 2018. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2018/file/fc49306d97602c8ed1be1dfbf0835ead-Paper.pdf (дата звернення: 22.08.2024).

9. Wang et al Non-Local Operation. 2018. <https://paperswithcode.com/method/non-local-operation>

10. Xiaolong Wang, Ross Girshick, Abhinav Gupta, Kaiming He Non-local Neural Networks. 2018 <https://arxiv.org/pdf/1711.07971.pdf> (дата звернення: 22.08.2024).

11. Chunwei Tian, Lunke Fei, Wenxian Zheng, Yong Xu, Wangmeng Zuo, Chia-Wen Lin Deep Learning on Image Denoising: An Overview. 2019. <https://arxiv.org/pdf/1912.13171.pdf> (дата звернення: 22.08.2024).

REFERENCES:

1. Mykhaylov, V. S., Research and development of image enhancement methods. 2019. <http://openarchive.nure.ua/handle/document/11968> (accessed 22.08.2024).
2. Zinchenko O. V., Zvenigorodskyi O. S., Kysil T. M., Convolutional neural networks for solving computer vision problems. 2022. <http://tit.dut.edu.ua/index.php/telecommunication/article/view/2417> (date of access: 22.08.2024).
3. Chao Dong, Chen Change Loy, Member, IEEE, Kaiming He, Member, IEEE, and Xiaoou Tang, Fellow, IEEE Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. 2015. <https://arxiv.org/pdf/1501.00092.pdf> (accessed 22.08.2024).
4. Kai Zhang, Wangmeng Zuo, Lei Zhang Learning a Single Convolutional Super-Resolution Network for Multiple Degradations. 2018. https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/papers/Zhang_Learning_a_Single_CVPR_2018_paper.pdf (accessed 22.08.2024).
5. Bohdan V. Chapaliuk, Yuriy P. Zaychenko Using recurrent neural networks for automatic diagnosis of lung cancer. 2019 <http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/177906> (access date: 22.08.2024).
6. Anakhov P., Zhebka V., Berkman L., Koretska V. Increasing Functional Stability of Telecommunications Network in the Depressed Zone of HPS Reservoir / Lecture Notes in Electrical Engineering, 2023, 965 LNEE, p. 214–23
7. Stamatios Lefkimmiatis Non-local Color Image Denoising with Convolutional Neural Networks. 2016. <https://arxiv.org/pdf/1611.06757.pdf> (accessed 22.08.2024).
8. Ding Liu, Bihan Wen, Yuchen Fan, Chen Change Loy, Thomas S. Huang Non-Local Recurrent Network for Image Restoration. 2018. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2018/file/fc49306d97602c8ed1be1dfbf0835ead-Paper.pdf (accessed 22.08.2024).
9. Wang et al Non-Local Operation. 2018. <https://paperswithcode.com/method/non-local-operation>
10. Xiaolong Wang, Ross Girshick, Abhinav Gupta, Kaiming He Non-local Neural Networks. 2018 <https://arxiv.org/pdf/1711.07971.pdf> (date of access: 22.08.2024).
11. Chunwei Tian, Lunke Fei, Wenxian Zheng, Yong Xu, Wangmeng Zuo, Chia-Wen Lin. Deep Learning on Image Denoising: An Overview. 2019. <https://arxiv.org/pdf/1912.13171.pdf> (accessed 22.08.2024).

УДК 004.002

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.2>

РОЗВИТОК ПОСТКВАНТОВОЇ КРИПТОГРАФІЇ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ АЛГЕБРИ ПІДПИСІВ (SIGNATURE ALGEBRA)

Богом'я В. І. – доктор технічних наук, професор,
професор кафедри кібербезпеки, інформаційних технологій та економіки
Київського університету інтелектуальної власності та права
Національного університету «Одеська юридична академія»
Scopus-Author ID: 51863292100
ORCID ID: 0000-0003-4403-3130

Бараненко О. О. – здобувач вищої освіти
Київського університету інтелектуальної власності та права
Національного університету «Одеська юридична академія»
ORCID ID: 0009-0005-1810-8102

Жуков Є. В. – ад'юнкт Національного університету оборони України
ORCID ID: 0009-0002-1251-946X

Відомо, що широке впровадження квантових технологій супроводжується серйозними викликами. Основна проблема полягає в крихкості квантових станів, які можуть легко змінюватись через вплив шуму, декогеренцію або неточності у виконанні квантових операцій. Це створює високі ризики для надійності квантових обчислень, особливо в умовах сучасних пристроїв проміжного масштабу (NISQ), які мають обмежену кількість кубітів і високий рівень шумів.

У статті було проаналізовано сучасні методи квантової корекції помилок, зокрема використання алгебри підписів, її впровадження в різні протоколи, системи та перспективи розвитку.

Визначено ключова роль квантової корекції помилок. Корекція помилок є фундаментальним елементом для забезпечення стабільності квантових обчислень, особливо на шумних пристроях проміжного масштабу (NISQ).

Проаналізовано існуючий метод корекції помилок – алгебра підписів (signature algebra) як універсальний інструмент. Визначено, що алгебра підписів продемонструвала свою ефективність у визначенні та корекції помилок у реальному часі; у перевірці стабільності квантових станів та інтеграції з сучасними квантовими протоколами, такими як BB84, E91, DI-QKD, BQC, QSS та ін.

Перспективами розвитку є: подальша стандартизація алгебри підписів як інструмента для тестування та корекції помилок; її інтеграції з постквантовою криптографією для забезпечення безпеки даних у квантовій ері; у розробленні нових моделей для систем NISQ, топологічних кодів і квантових мереж.

Робота може бути використана як навчальний матеріал для студентів і дослідників, що займаються квантовими обчисленнями. Використані у роботі приклади коду демонструють, як алгебра підписів інтегрується у квантові обчислення, забезпечуючи надійність обчислень навіть у шумлених середовищах. Запропоновані підходи можуть бути використані для створення стійких квантових систем і протоколів для криптографії, комунікацій та машинного навчання.

Ключові слова: постквантова криптографія, алгебра підписів (signature algebra), корекція помилок, квантові обчислення, сучасні пристрої проміжного масштабу (NISQ).

Bohomia V. I., Baranenko O. O., Zhukov E. V. Development of post-quantum cryptography accounting for the possibilities of signature algebra

It is known that the widespread implementation of quantum technologies is accompanied by significant challenges. The main issue lies in the fragility of quantum states, which can easily change due to noise, decoherence, or inaccuracies in performing quantum operations. This poses high risks to the reliability of quantum computations, especially in the context of modern intermediate-scale devices (NISQ), which have a limited number of qubits and a high level of noise.

The article analyzed modern methods of quantum error correction, in particular, the use of signature algebra, its implementation in various protocols, systems, and development prospects.

The key role of quantum error correction is identified. Error correction is a fundamental element for ensuring the stability of quantum computing, especially on noisy intermediate-scale (NISQ) devices.

The existing error correction method – signature algebra – is analyzed as a universal tool. It is determined that signature algebra has demonstrated its effectiveness in identifying and correcting errors in real time; in checking the stability of quantum states and integrating with modern quantum protocols such as BB84, E91, DI-QKD, BQC, QSS, etc.

The development prospects are: further standardization of signature algebra as a tool for testing and error correction; its integration with post-quantum cryptography to ensure data security in the quantum era; in developing new models for NISQ systems, topological codes and quantum networks.

The work can be used as a teaching material for students and researchers involved in quantum computing. The code examples used in the work demonstrate how signature algebra is integrated into quantum computing, ensuring the reliability of calculations even in noisy environments. The proposed approaches can be used to create robust quantum systems and protocols for cryptography, communications, and machine learning.

Key words: *post-quantum cryptography, signature algebra, error correction, quantum computing, modern intermediate-scale devices (NISQ).*

Постановка проблеми. Квантові обчислення є одним із найперспективніших напрямів сучасної науки та техніки, що здатен радикально змінити способи вирішення складних завдань у багатьох сферах: криптографії, оптимізації, моделюванні молекулярної динаміки та аналізі великих даних. Використовуючи принципи суперпозиції та квантової заплутаності, квантові комп'ютери забезпечують значно вищу швидкість обчислень порівняно з класичними.

Проте широке впровадження квантових технологій супроводжується серйозними викликами. Основна проблема полягає в крихкості квантових станів, які можуть легко змінюватись через вплив шуму, декогеренцію або неточності у виконанні квантових операцій. Це створює високі ризики для надійності квантових обчислень, особливо в умовах сучасних пристроїв проміжного масштабу (NISQ), які мають обмежену кількість кубітів і високий рівень шумів.

Для вирішення цих проблем розроблені методи квантової корекції помилок, які дозволяють виявляти й виправляти помилки, забезпечуючи стійкість обчислень. Одним із перспективних інструментів у цій галузі є алгебра підписів (Signature Algebra), яка надає формалізований підхід до перевірки коректності квантових станів і дозволяє локалізувати та виправляти помилки у реальному часі.

Сьогодні квантові технології також стикаються із загрозами, пов'язаними з їхнім практичним застосуванням. Наприклад, поява квантових комп'ютерів ставить під загрозу сучасні криптографічні системи, такі як RSA і ECC. Це стимулює розвиток постквантової криптографії (PQC), яка доповнюється можливостями алгебри підписів для перевірки та захисту даних.

Таким чином, дослідження у сфері квантової корекції помилок і її інтеграції з найновішими протоколами, такими як QKD, BQC, DI-QKD, а також із PQC, є критично важливими для забезпечення надійності та безпеки майбутніх квантових систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатом аналізу джерел інформації [1–14] авторами було проаналізовано та визначено такі особливості дослідження у сфері квантової корекції помилок.

У [1–5, 10–14] проаналізовані теоретичні аспекти квантової корекції помилок, включаючи коди Шора, Steane та алгебру підписів.

У [6–9] авторами проаналізувати типи квантових помилок і наведено особливості способів їхнього виявлення.

У [1–5] наведено методи реалізації квантової корекції на практичних платформах, таких як IBM Qiskit.

У [10–13] проаналізована сумісність алгебри підписів із найновішими квантовими протоколами, такими як BB84, DI-QKD, QSS і BQC.

У [5–10] досліджено використання алгебри підписів для підтримки постквантової криптографії (PQC).

Проаналізувати перспективи застосування алгебри підписів у реальних квантових системах, включаючи NISQ-пристрої, гібридні квантово-класичні системи, квантові датчики та мережі.

Але у цих дослідженнях остається не повністю визначеними питання особливостей квантової корекції, а саме для забезпечення стабільності квантових обчислень, особливо на шумних пристроях проміжного масштабу (NISQ).

Мета статті. Тому метою статті є дослідження у сфері квантової корекції помилок і її інтеграції з найновішими протоколами щодо забезпечення надійності та безпеки майбутніх квантових систем.

При цьому актуальною є тема: «Розвиток постквантової криптографії за рахунок можливостей алгебри підписів».

Методи досліджень. Одним із фундаментальних підходів до виправлення помилок у квантових системах є використання спеціальних кодів (Шора, Стена, топологічних кодів) [5, 7, 9]. Вони дозволяють захищати квантову інформацію шляхом розширення одного логічного кубіта до більшої кількості фізичних кубітів.

Код Шора є першим розробленим квантовим кодом і забезпечує захист від двох основних типів помилок: фліп біта та фазовий зсув. Він використовує дев'ять фізичних кубітів для представлення одного логічного кубіта. Кодовані стани виглядають наступним чином [1, 2].

$$|0_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{8}}(|000\rangle + |111\rangle)^{\otimes 3}, |1_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{8}}(|000\rangle - |111\rangle)^{\otimes 3}.$$

Механізм функціонування коду Шора полягає в наступному [5, 6]:

1. У кодуванні, коли логічний стан перетворюється на дев'ять фізичних кубітів.
2. У детекції, коли стабілізатори, такі як Z_1 та Z_2 або X_2 та X_3 , виявляють помилки, не руйнуючи квантовий стан.
3. У корекції, коли виправлення виконується шляхом застосування зворотних операцій для відповідного типу помилки.

Код Steane базується на класичному коді Хемінга і використовує сім фізичних кубітів для одного логічного. Він забезпечує ефективний захист від помилок і дозволяє одночасно виявляти бітові та фазові зсуви. Кодованими станами є [3, 7].

$$|0_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{8}}(|0000000\rangle + |1111111\rangle), \quad |1_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{8}}(|0000000\rangle - |1111111\rangle).$$

Топологічні коди (surface codes). Топологічні коди використовують геометричні властивості квантових систем для локалізації помилок. Вони є перспективними для апаратної реалізації на квантових комп'ютерах через їхню стійкість до локальних шумів.

Практична реалізація на квантових воротах. Квантові ворота є основними елементами обчислень у квантових системах. Реалізація корекції помилок базується на використанні таких воріт, як CNOT, Hadamard, і Pauli.

CNOT (Controlled-NOT). CNOT-ворота створюють кореляцію між двома кубітами, що необхідно для виявлення та виправлення помилок [11]. Оператор CNOT виконує перетворення

$$|a, b\rangle \rightarrow |a, a \oplus b\rangle.$$

Hadamard (H). Ворота Hadamard створюють суперпозиції й дозволяють переходити між базисами [12]

$$H|0\rangle = \frac{(|0\rangle + |1\rangle)}{\sqrt{2}}, \quad H|1\rangle = \frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}}.$$

Оператори Паулі (X, Y, Z). Оператори Паулі відповідають за обертання та фазові зміщення [13]

X: фліп біта ($X|0\rangle = |1\rangle$);

Z: фазовий зсув ($Z|+\rangle = |-\rangle$).

Приклад коду Шора з CNOT і Hadamard наведений на рис. 1.

```
from qiskit import QuantumCircuit, Aer, execute
from qiskit.visualization import plot_histogram

# Створення квантового ланцюга
qc = QuantumCircuit(3, 1)

# Кодування
qc.h(0)
qc.cx(0, 1)
qc.cx(0, 2)

# Внесення помилки
qc.x(1) # flip біта

# Корекція помилки
qc.cx(0, 1)
qc.cx(0, 2)
qc.ccx(1, 2, 0)

# Вимірювання
qc.measure(0, 0)

# Конфігурація
simulator = Aer.get_backend('qasm_simulator')
result = execute(qc, simulator).result()
counts = result.get_counts()
plot_histogram(counts)
```

Рис. 1. Приклад коду Шора з CNOT і Hadamard

IBM Qiskit пропонує платформу для моделювання та тестування алгоритмів квантової корекції помилок [9, 10].

Реалізація квантової корекції помилок можлива завдяки розробці спеціалізованих кодів і використанню квантових воріт. Тестування на платформах, таких як IBM Qiskit, демонструє практичну ефективність цих методів. Впровадження таких підходів на реальних пристроях дозволить забезпечити стабільність і точність квантових обчислень у майбутньому.

Виклад основного матеріалу дослідження. Квантові обчислення складаються з послідовності операцій, кожна з яких змінює стан квантової системи. Для забезпечення точності обчислень необхідний контроль послідовностей, який дозволяє виявляти помилки на будь-якому етапі та коригувати їх у режимі реального часу. У цьому контексті алгебра підписів виступає інструментом для формалізації та перевірки станів системи.

1. Контроль послідовностей у квантових системах з використанням алгебри підписів

Контроль послідовностей у квантових обчисленнях базується на наступних принципах:

1. Відстеження стану системи. Кожен стан системи описується у вигляді підпису SSS , що представляє вектор стану кубітів [3, 13].

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\},$$

де s – стан i -го кубіта.

2. Верифікація операцій. Кожна операція, виконана над системою, змінює її стан згідно з очікуваними підписами. Якщо стан після операції не відповідає очікуваному, це сигналізує про наявність помилки.

3. Локалізація помилок. Використання стабілізаторів дозволяє визначити, в якому місці послідовності виникла помилка.

Алгебра підписів описує зміни стану системи за допомогою операторів і стабілізаторів. Елементами алгебри підписів є такі:

1. Підпис: Поточний стан кубітів, описаний стабілізаторами. Наприклад, стан заплутаних кубітів [5, 9]:

$$S = \{Z_1, Z_2, X_1, X_2\}.$$

2. Оператори: Моделюють зміни стану системи. Для воріт Hadamard справедливо [3–5, 9]

$$H|0\rangle = \frac{(|0\rangle + |1\rangle)}{\sqrt{2}}, H|1\rangle = \frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}}.$$

3. Контрольні точки: Встановлюються на кожному етапі обчислення для перевірки відповідності стабілізаторів [10, 13].

$$S_{\text{initial}} \rightarrow S_{\text{intermediate}} \rightarrow S_{\text{final}}.$$

Алгоритм контролю складається з декількох етапів [14]:

1. Ініціалізація, коли система отримує початковий підпис S_{initial} .
2. Операції, коли кожна операція змінює підпис згідно з очікуваним перетворенням.
3. Перевірка, коли на кожному етапі система порівнює поточний підпис із очікуваним.

Приклад контролю послідовностей у квантовій системі наведений на рис. 2.

Опис роботи коду полягає у ініціалізації (створюється заплутаний стан); у внесенні помилки (кубіт 1 зазнає фазового зсуву Z) та відновлення (стабілізатори використовуються для корекції стану).

Контроль послідовностей із використанням алгебри підписів забезпечує точність і надійність квантових обчислень. Інтеграція цього підходу з платформами, такими як IBM Qiskit, дозволяє моделювати складні сценарії й забезпечувати ефективне виправлення помилок у реальному часі.

```
from qiskit import QuantumCircuit, Aer, execute
from qiskit.visualization import plot_histogram

# Створення квантового ланцюга
qc = QuantumCircuit(2, 2)

# Ініціалізація (початковий підпис S_initial)
qc.h(0) # Hadamard створює суперпозицію
qc.cx(0, 1) # CNOT створює заплутаність

# Перевірка першого стабілізатора (S_intermediate)
qc.measure_all()

# Внесення помилки (інжекція шуму)
qc.z(1)

# Відновлення (перевірка S_final)
qc.cx(0, 1)
qc.h(0)

# Випробування
simulator = Aer.get_backend('qasm_simulator')
result = execute(qc, simulator, shots=1024).result()
counts = result.get_counts()
plot_histogram(counts)
```

Рис. 2. контроль послідовностей у квантовій системі

2. Приклади використання корекції помилок у квантових протоколах

Квантова корекція помилок знаходить широке застосування в сучасних квантових протоколах, які використовуються для безпечної передачі інформації, квантового обчислення та мережевого зв'язку. У цьому розділі розглянуто приклади використання методів корекції помилок у ключових квантових протоколах.

2.1.1. Квантова телепортація

Квантова телепортація дозволяє передавати невідомий квантовий стан від однієї сторони (Аліси) до іншої (Боба) за допомогою заплутаного стану та класичного каналу зв'язку. Вона є основою багатьох квантових комунікаційних протоколів.

Етапами телепортації є ініціалізація заплутаного стану, коли Аліса та Боб спільно створюють заплутану пару кубітів

$$|\Phi^+\rangle = \frac{(|00\rangle + |11\rangle)}{\sqrt{2}}$$

Також, наступним етапом є вимірювання кубіта Аліси, коли Аліса виконує вимірювання Белла над своїм кубітом і кубітом, що передається. В результаті Боб отримує стан, ідентичний початковому.

Приклад реалізації телепортації на IBM Qiskit наведений на рис. 3.

Кінцевий етап – це класичний обмін, коли Аліса передає результати вимірювання Бобу, який застосовує корекцію до свого кубіта (наприклад, за допомогою операторів Паулі X та Z).

У процесі телепортації проводиться корекція помилок, яка полягає у захисті заплутаності, коли стабілізатори, такі як Z_1 та Z_2 , перевіряють, чи зберігся зв'язок між кубітами під час передачі та у корекції шумів, коли шум руйнує стан $|\Phi^+\rangle$, корекція помилок дозволяє відновити заплутаність.

2.1.2. Квантова криптографія (BB84)

Протокол BB84 є одним із перших і найпоширеніших квантових криптографічних протоколів для безпечного розподілу ключів.

Послідовність етапів цього протоколу складається з:

1. Генерація випадкових базисів: Аліса генерує послідовність кубітів у ректилінійному ($|0\rangle, |1\rangle$) або діагональному ($|+\rangle, |-\rangle$) базисі.
2. Передача кубітів: Кубіти передаються Бобу через квантовий канал.
3. Вибір базисів Бобом: Боб виконує вимірювання у випадкових базисах.
4. Обмін інформацією: Аліса й Боб публічно обмінюються інформацією про базиси та зберігають лише ті біти, де базиси збіглися.

Роль корекції помилок у BB84 полягає у:

- захисті від шуму, коли корекція помилок виключає кубіти, які були пошкоджені під час передачі;
- виявленні атак, коли стабілізатори алгебри підписів допомагають виявити спроби перехоплення зломисником, наприклад, через фазові зміщення.

2.2 Розподіл квантових ключів у зашумлених середовищах

Квантовий розподіл ключів (QKD) стикається зі значними викликами у зашумлених середовищах, таких як атмосферні канали або оптоволоконні лінії. Корекція помилок забезпечує збереження ключа навіть за наявності шуму.

Методи корекції в QKD є:

1. Стабілізатори для виявлення помилок: Наприклад, у фазових зміщеннях стабілізатори $Z_1 Z_2 Z_{-1} Z_{-2} Z_1 Z_2$ забезпечують коректність стану.

```

from qiskit import QuantumCircuit, Aer, execute
from qiskit.visualization import plot_histogram

# Квантовий ланцюг для телепортації
qc = QuantumCircuit(3, 2)

# Ініціалізація запутаного стану
qc.h(1)
qc.cx(1, 2)

# Передача стану через вибірання біти
qc.cx(0, 1)
qc.h(0)
qc.measure([0, 1], [0, 1])

# Корекція стану Боба
qc.cx(1, 2)
qc.cz(0, 2)

# Симуляція
simulator = Aer.get_backend('qasm_simulator')
result = execute(qc, simulator, shots=1024).result()
counts = result.get_counts()
plot_histogram(counts)

```

Рис. 3. реалізація телепортації на IBM Qiskit

2. Перевірка сумісності станів, коли система виконує синдромний аналіз для визначення відхилень стану.

3. Фільтрація пошкоджених станів, коли кубіти, які не відповідають очікуваним підписам, видаляються з ключа.

Приклад стабілізації ключів у шумному середовищі наведений на рис. 4.

```

from qiskit import QuantumCircuit, Aer, execute

# Створення запутаного стану
qc = QuantumCircuit(2)
qc.h(0)
qc.cx(0, 1)

# Внесення шуму
qc.z(1)

# Корекція стану
qc.cx(0, 1)
qc.h(0)

# Симуляція
simulator = Aer.get_backend('statevector_simulator')
result = execute(qc, simulator).result()
statevector = result.get_statevector()
print("Corrected Statevector:", statevector)

```

Рис. 4. стабілізація ключів у шумному середовищі

Квантова корекція помилок відіграє ключову роль у квантових протоколах, таких як телепортація, BB84 і QKD. Використання стабілізаторів і алгебри підписів дозволяє забезпечувати точність і безпеку квантової інформації навіть у зашумлених середовищах. Ці методи становлять основу для подальшого розвитку квантових комунікаційних технологій.

Висновки й перспективи подальших досліджень. У статті було проаналізовано сучасні методи квантової корекції помилок, зокрема використання алгебри підписів, її впровадження в різні протоколи, системи та перспективи розвитку.

1. Визначено ключова роль квантової корекції помилок. Корекція помилок є фундаментальним елементом для забезпечення стабільності квантових обчислень, особливо на шумних пристроях проміжного масштабу (NISQ). Існуючі

методи корекції, такі як код Шора, Steane та топологічні коди, забезпечують стійкість до основних типів помилок.

2. Проаналізовано існуючий метод корекції помилок – алгебра підписів як універсальний інструмент. Визначено, що алгебра підписів продемонструвала свою ефективність у визначенні та корекції помилок у реальному часі; у перевірці стабільності квантових станів та інтеграції з сучасними квантовими протоколами, такими як BB84, E91, DI-QKD, BQC, QSS та ін.

3. Перспективами розвитку є: подальша стандартизація алгебри підписів як інструмента для тестування та корекції помилок; її інтеграції з постквантовою криптографією для забезпечення безпеки даних у квантовій ері; у розробленні нових моделей для систем NISQ, топологічних кодів і квантових мереж.

4. Рекомендаціями для подальших досліджень є такі:

- моделювання систем із високим рівнем шуму;
- поширення на нові протоколи, такі як DI-QKD, а також у гібридні системи;
- побудова квантових мереж;
- оптимізація ресурсів – розроблення методів, що знижують енергетичні та обчислювальні витрати корекції помилок.

Квантова корекція помилок є ключовим напрямом для успішного розвитку квантових технологій. Алгебра підписів виступає як ефективний інструмент для забезпечення стабільності, безпеки та точності квантових обчислень. Її подальше вивчення та впровадження сприятиме вирішенню викликів, пов'язаних із шумами, масштабуванням і безпекою, відкриваючи нові горизонти для квантових досліджень і технологій.

5. Робота може бути використана як навчальний матеріал для студентів і дослідників, що займаються квантовими обчисленнями. Використані у роботі приклади коду демонструють, як алгебра підписів інтегрується у квантові обчислення, забезпечуючи надійність обчислень навіть у зашумлених середовищах. Запропоновані підходи можуть бути використані для створення стійких квантових систем і протоколів для криптографії, комунікацій та машинного навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press. 2010. 256 p.
2. Shor, P. W. "Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory." *Physical Review A*, 1995. 52(4), R2493-R2496. 320 p.
3. Steane, A. M. "Error Correcting Codes in Quantum Theory." *Physical Review Letters*, 1996. 77(5), P. 793–797.
4. Bennett, C. H., & Brassard, G. "Quantum Cryptography: Public key distribution and coin tossing." *Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing*, Bangalore, India, 1984. 498 p.
5. Gottesman, D. "An Introduction to Quantum Error Correction and Fault-Tolerant Quantum Computation." *arXiv preprint quant-ph/0904.2557*. 2009. 420 p.
6. IBM Quantum Experience Documentation. <https://docs.quantum.ibm.com/>
7. Google Sycamore Research Papers. <https://arxiv.org/abs/2103.03074>
8. Post-Quantum Cryptography: NIST Round 3 Standardization. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2022. 320 p.
9. Raussendorf, R., & Harrington, J. "Fault-tolerant quantum computation with high threshold in two dimensions." *Physical Review Letters*, 2007. 98(19), 190504, 2007.
10. Preskill, J. "Quantum Computing in the NISQ era and beyond." *Quantum*, 2018. No. 2, P.79–87.
11. Qiskit Textbook. IBM Quantum Team, 2023. <https://www.ibm.com/quantum/qiskit>

12. Broadbent, A., Fitzsimons, J., & Kashefi, E. "Universal blind quantum computation." Proceedings of the 50th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2019. No. 3, 400 p.
13. Ekert, A. K. "Quantum cryptography based on Bell's theorem." Physical Review Letters, 1991. 67(6), 661–663.
14. DiVincenzo, D. P. "The Physical Implementation of Quantum Computation." Fortschritte der Physik, 2020. 48(9-11), P. 771–783.

REFERENCES:

1. Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press. 256 p.
2. Shor, P. W. (1995). "Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory." Physical Review A, 52(4), R2493-R2496. 320 p.
3. Steane, A. M. (1996). "Error Correcting Codes in Quantum Theory." Physical Review Letters, 77(5), P. 793–797.
4. Bennett, C. H., & Brassard, G. (1984). "Quantum Cryptography: Public key distribution and coin tossing." Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing, Bangalore, India, 498 p.
5. Gottesman, D. (2009). "An Introduction to Quantum Error Correction and Fault-Tolerant Quantum Computation." arXiv preprint quant-ph/0904.2557. 420 p.
6. IBM Quantum Experience Documentation. <https://docs.quantum.ibm.com/>
7. Google Sycamore Research Papers. <https://arxiv.org/abs/2103.03074>
8. Post-Quantum Cryptography: NIST Round 3 Standardization. National Institute of Standards and Technology (NIST), 2022. 320 p.
9. Raussendorf, R., & Harrington, J. (2007). "Fault-tolerant quantum computation with high threshold in two dimensions." Physical Review Letters, 98(19), 190504, 2007.
10. Preskill, J. (2018). "Quantum Computing in the NISQ era and beyond." Quantum, No. 2, P.79–87.
11. Qiskit Textbook. IBM Quantum Team, 2023. <https://www.ibm.com/quantum/qiskit>
12. Broadbent, A., Fitzsimons, J., & Kashefi, E. (2019). "Universal blind quantum computation." Proceedings of the 50th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, No. 3, 400 p.
13. Ekert, A. K. (1991). "Quantum cryptography based on Bell's theorem." Physical Review Letters, 67(6), P.661–663.
14. DiVincenzo, D. P. (2020). "The Physical Implementation of Quantum Computation." Fortschritte der Physik, 48(9-11), P. 771–783.

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.3>

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІДСТЕЖЕННЯ ПОДІЙ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Вакалюк Т. А. – доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-6825-4697
Scopus-Author ID: 57211133927
Researcher ID: C-3650-2016

Фант М. О. – кандидат філологічних наук,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-4994-8009

Єфремов Ю. М. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-1249-5560
Scopus-Author ID: 57213819156

Фаррахов О. В. – кандидат технічних наук,
в.о. вченого секретаря Центру інформаційно-аналітичного
та технічного забезпечення моніторингу об'єктів атомної енергетики
Національної академії наук України
ORCID ID: 0000-0003-4988-126X
Scopus-Author ID: 57817543200

Жиляєв Є. В. – здобувач
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0009-0000-4396-7826

У статті досліджено теоретичні засади та ключові аспекти відстеження подій у розподілених системах, що набуває особливої актуальності в контексті стрімкого розвитку мікросервісної архітектури. Проаналізовано основні характеристики та особливості мікросервісної архітектури, включаючи її переваги та недоліки порівняно з монолітною архітектурою. Визначено, що мікросервісний підхід, попри свої переваги у вигляді гнучкості розробки та масштабування, створює додаткові виклики в контексті моніторингу та відстеження подій через розподілену природу системи.

Розкрито ключові концепції систем відстеження подій, зокрема поняття «спен» (span) як базової одиниці відстеження, «трейс» (trace) для відслідковування повного шляху запиту, «багаж» (baggage) для передачі метаданих між сервісами, «теги» (tags) для забезпечення контексту та «семплінг» (sampling) для оптимізації навантаження на систему. Детально проаналізовано різні підходи до семплінгу, включаючи методи «наперед» (head-based) та «опісля» (tail-based), їх особливості та випадки застосування.

Досліджено архітектуру сучасних систем відстеження подій, яка складається з п'яти основних компонентів: проміжного програмного забезпечення, механізму поширення контексту, системи зберігання трейсів, колектора даних та інтерфейсу аналізу. Особливу увагу приділено механізмам поширення контексту та їх ролі у забезпеченні ефективного відстеження подій у розподілених системах.

Визначено, що ефективна система відстеження подій повинна забезпечувати мінімальний вплив на продуктивність основних бізнес-процесів, що досягається через асинхронну обробку даних моніторингу та оптимізовані механізми їх збору і зберігання. Результати дослідження мають практичне значення для розробників та архітекторів програмного забезпечення, які працюють з мікросервісними архітектурами та потребують ефективних інструментів для моніторингу та діагностики розподілених систем.

Ключові слова: розподілені системи, мікросервісна архітектура, відстеження подій, спен, трейс, багаж, семплінг, моніторинг, асинхронна обробка, поширення контексту.

Vakaliuk T. A., Fant M. O., Iefremov Yu. M., Farrakhov O. V., Zhyliayev Ye. V. Theoretical foundations of event tracking in distributed systems

The article explores the theoretical foundations and key aspects of event tracking in distributed systems, which is becoming particularly relevant in the context of the rapid development of microservice architecture. It analyzes the main characteristics and features of microservice architecture, including its advantages and disadvantages compared to monolithic architecture. It has been determined that the microservice approach, despite its advantages in terms of development flexibility and scalability, creates additional challenges in the context of monitoring and event tracking due to the system's distributed nature.

The key concepts of event tracking systems are revealed, including the concept of "span" as a basic unit of tracking, "trace" for tracking the complete request path, "baggage" for transmitting metadata between services, "tags" for providing context, and "sampling" for optimizing system load. Different approaches to sampling are analyzed in detail, including "head-based" and "tail-based" methods, as well as their features and application cases.

The architecture of modern event tracking systems, which consists of five main components: middleware, context propagation mechanism, trace storage system, data collector, and analysis interface, is studied. Particular attention is paid to context propagation mechanisms and their role in ensuring effective event tracking in distributed systems.

It has been determined that an effective event-tracking system should ensure minimal impact on the performance of core business processes, which is achieved through asynchronous processing of monitoring data and optimized mechanisms for their collection and storage. The research results have practical significance for software developers and architects working with microservice architectures, which require practical tools for monitoring and diagnosing distributed systems.

Key words: distributed systems, microservice architecture, event tracking, span, trace, baggage, sampling, monitoring, asynchronous processing, context propagation.

Актуальність. Масовий перехід на мікросервісну архітектуру не сповільнює своїх темпів, та судячи зі всього, мікросервіси увійшли в тренди розробки програмного забезпечення надовго. Однак, така архітектура має свої унікальні проблеми. Запит кожного користувача, який надходить до одного мікросервісу, майже завжди перенаправляється від одного сервісу до іншого, кожен з яких може бути написаний за допомогою різних фреймворків та програмних мов. Це ставить нову задачу перед командою розробників – як зрозуміти і відстежити подорож кожного такого запиту. Ця задача складається із багатьох факторів, таких як неоднорідна природа мікросервісів, сама природа розподілених комп'ютерних систем, в яких запиту доводиться подорожувати через мережу від сервісу до сервісу без будь-яких гарантій щодо стану мережі майбутніх сервісів, та навіть самого поняття аномальної поведінки для конкретного середовища. Усе це і вимагає дослідження та оптимізації доступних методів та інструментів, які можуть допомогти у вирішенні вищезгаданої задачі.

Огляд останніх досліджень і публікацій. До проблеми дослідження звертались у своїх публікаціях такі науковці, як Своєр С. (Swoyer S.) [1], Фовлер М. (Fowler M.) [2], Дж. Льюїс (J. Lewis) [2, 3], Харенко А. (Kharenko A.) [4], Шкурко Ю. (Schkuro Y.) [6, 7], Гейнріх Р. (R. Heinrich) [8], Де Камарго (de Camargo) [9], Салвадорі І. (I. Salvadori) [9], Мелло Р. (R. d. S. Mello) [9], Сікьюєра Ф. (F. Siqueira) [9], Кнокхе Х. (H. Knoche) [10], та ще ряд авторів [11].

Метою дослідження є аналіз підходів до відстеження подій у розподілених системах.

Виклад основного матеріалу. Звичайні підходи для відстеження процесів дозволили легко спостерігати за простими та статичними програми з монолітною архітектурою і процес був відносно простим. У сучасному корпоративному середовищі це зовсім інша історія. Відбувається зростання сервіс-орієнтованих архітектур (SOA). Це ускладнює розуміння того, як відбуваються конкретні транзакції в різних підрозділах програми. Більше того, швидке впровадження хмарних мікросервісів зі складними середовищами зробило майже неможливим збереження актуальності звичайних рішень відстеження подій. Відповідно на нові виклики є системи відстеження подій у розподілених комп'ютерних системах.

Викладене вище дозволяє зрозуміти важливість розподіленого відстеження подій в корпоративній сфері, але при цьому важливо також і зрозуміти, що сама ідея того як саме розподілене відстеження має реалізуватись і які критерії є важливими при виборі рішення, знаходяться в активному розвитку, а тому головним завданням цієї роботи є визначення таких критеріїв, та аналіз існуючих інструментів, які можуть задовольнити ті чи інші критерії.

Розробка мікросервісної архітектури – це підхід до розробки програми яка являє собою набір невеликих сервісів, кожен із яких працює у своєму власному системному процесі та взаємодіє з іншими сервісами через спеціальні механізми, наприклад через програмні інтерфейси які використовують HTTP протокол. Ці сервіси побудовані з орієнтацією саме на бізнес потреби (а не на технічні потреби) та можуть незалежно один від іншого розгортатися на сервері повністю автоматизованими процесами. Існує мінімум централізованого управління такими сервісами, і тому вони можуть бути написані різними мовами програмування та використовуватися різні технології зберігання даних [2]. Кожен мікросервіс – це невелика програма, яка має власну архітектуру, складається як із самої бізнес-логіки разом так і з різних методів зв'язку з іншими сервісами. Мікросервіси часто використовують програмний інтерфейс типу REST, але відкриті і до багатьох інших методів інтеграції. Мікросервісна архітектура має ряд переваг у порівнянні з монолітною архітектурою. Розділивши програму на набір базових служб, специфічних для поставлених бізнес завдань, складність кожної з яких зведена до мінімуму, завдяки чому легше зрозуміти систему, розробляти нові можливості, а потім і розгорнути на сервері незалежно від інших сервісів. При мікросервісній архітектурі також можна вибрати будь-яку підходящу мову програмування та відповідні технології для кожного окремого мікросервісу.

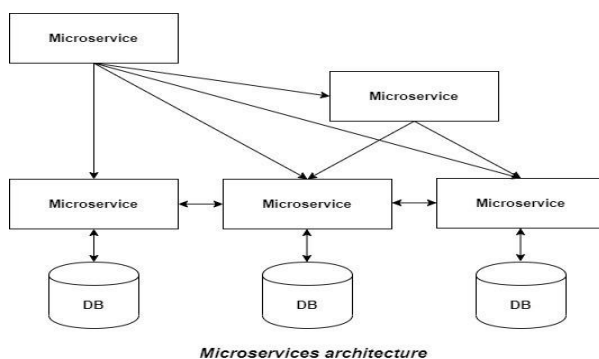


Рис. 1. Схема мікросервісу, який має п'ять незалежних сервісів з різними базами даних і з різним форматом зв'язку між сервісами

Мікросервісна архітектура суттєво впливає на зв'язок між сервісом і базою даних. В архітектурі мікросервісів замість спільного використання однієї схеми бази даних, як це відбувається при монолітній архітектурі, а кожен сервіс має свою власну схему бази даних. Деякі стверджують, що цей підхід суперечить ідеї єдиної моделі даних для всієї бізнес логіки. Крім того, це часто призводить до дублювання деяких даних. Однак, якщо для кожного сервісу є окрема схема бази даних, це забезпечує слабкий зв'язок(decoupling) між мікросервісами. Більше того, кожен сервіс може використовувати той тип бази даних, який найкраще підходить для його потреб [4].

Однак, як і монолітна архітектура, мікросервісна архітектура має недоліки. Мікросервісна архітектура створює розподілені комп'ютерні системи. При взаємодії з розподіленими системами, щоб вони функціонували належним чином, розробнику необхідно налагодити взаємодію між процесами а також продумати що робити з частковими збоями при запитах, коли місце призначення запиту може працювати занадто повільно або бути повністю недоступним. Це додає складності архітектурі такого типу. Ще один момент полягає в тому, що мікросервіс використовує базу даних, яка є лише логічним підрозділом загальної бази даних (з точки зору бізнес логіки), а отже для оновлення або видалення деяких об'єктів може бути необхідно оновити декілька баз даних, які належать різних сервісам і все це у рамках однієї єдиної транзакції. Тестування всієї програми також вимагає набагато більше роботи, ніж при роботі з програмою побудованою за монолітною архітектурою.

Хоча офіційного визначення мікросервісу немає, багато розробники домовляються про загальні характеристики мікросервісної архітектури архітектури. Наприклад, Джеймс Льюїс і Марін Фаулер визначили у своєму блозі наступні загальні характеристики мікросервісів, що представлені у табл. 1 [2].

Розглянемо основні терміни щодо систем відстеження подій.

Спен (span) – це найменша логічна одиниця розподіленої системи. Це основний блок з яких і формується розподілена система. Кожен мікросервіс, куди проходить запит, призначає такий спен, що визначає окремий процес та його тривалість. Різні системи з мікросервісною архітектурою мають різні дані що містяться у такому спені. Згідно з специфікацією OpenTracing API [5], вони мають містити назву операції, початок і завершення часу виконання, контекст спену, в якому дані передаються від процесу до процесу та пари типу «ключ-значення» що називаються тегами(tags) і логами(logs). Теги включають визначені користувачем назви проміжків, щоб можна було їх віднайти, фільтрувати та отримувати дані щодо відслідковування цих процесів. Логи корисні для запису даних що відносяться до конкретного діапазону, та іншої інформації необхідної для дебагінгу [5].

Трейс (trace) охоплює весь шлях запиту у всіх сервісах, які він проходить. Він складається з усіх спенів що стосувалися цього запиту. Трейс створюється після завершення запиту. Коли запит надходить до мікросервісу, створюється унікальний глобальний ідентифікатор для відслідковування, і він не змінюється при переході до наступної мікросервісу. Спен охоплює кожну операцію в межах одного мікросервісу. Зазвичай мікросервіс має декілька таких спенів, оскільки під час виконання запиту він може створити один або кілька спенів.

Багаж (baggage) – це механізм поширення контексту, який використовується в OpenTracing API для захоплення, передачі та отримання метаданих. Це набір пар типу «ключ-значення», які визначаються та використовуються розподіленою

системою відслідковування подій. Поширення контексту є механізмом, який можна використовувати для цілей повністю не пов'язані з відслідковуванням подій, але при цьому має широке використання саме у цій сфері. У OpenTracing API це і називається «багаж», термін який був визначений професором Родріго Фонсека з Університету Брауна [6], оскільки дозволяє додавати довільні дані до запиту, які автоматично передаються фреймворком. Багаж передається разом із запитом що є необхідними для бізнес логіки і може бути прочитаний у будь-який момент обробки запиту.

Теги (tags) – це пари типу «ключ-значення», які пов'язані із метричними даними що використовуються для надання контексту, та надання можливості розрізняти та групувати такі метричні дані під час їх аналізу.

Семплінг (sample) – в контексті відслідковування подій в розподілених комп'ютерних системах, семплінг є процесом генерування лише обраної підмножини трейсів, для того щоб знизити навантаження на швидкість дії та зберігання даних у системі.

Таблиця 1

Загальні характеристики мікросервісів [2]

Характеристика	Коментар
Розділ на компоненти за допомогою мікросервісів	Компонентизація функціональності в складних сервісах досягається за допомогою сервісів або мікросервісів, які є незалежними процесами, що зв'язуються один з одним через мережу. Мікросервіси призначені для забезпечення чітко вивірених інтерфейсів, малих розмірів самих сервісів, які автономно розробляються та розгортаються на сервері незалежно один від іншого.
«Розумні» (smart) сервіси та «нерозумні» (dumb) канали зв'язку	Зв'язок між службами використовує протоколи які не прив'язані до конкретних технологій, такі як HTTP і REST, на відміну від «розумних» механізмів, типу Enterprise Service Bus (ESB)
Бізнес-орієнтований дизайн	Сервіси будуються з врахуванням бізнес-потреб («сервіс профілю користувача» або «сервіс каталогу») а не технологій. Процес розробки розглядає сервіси як продукти, що постійно розвиваються, а не проекти, які в якійсь момент вважаються завершеними.
Децентралізоване управління	Дозволяє використовувати різним мікросервісам різні технологічні стеки
Децентралізоване управління даними	Проявляється в тому що рішення з точки зору концептуальних моделей даних і з точки зору технології зберігання даних приймаються відносно кожного сервісу окремо і незалежно один від іншого.
Автоматизація інфраструктури	Послуги «будуються», ідуть в реліз та розгортаються на сервері за допомогою автоматизованих процесів з використанням автоматизованого тестування, безперервної інтеграції та безперервного розгортання на сервері.
Дизайн розрахований на збій	Очікується, що сервіси завжди будуть зтикатися зі збоями інших сервісів і будуть в такому випадку або повторювати свої запити, або вміло «згортати» свій функціонал на час збою.
Еволюційний дизайн	Окремі компоненти мікросервісної архітектури розвиваються окремо один від одного, а тому не вимагають оновлення інших сервісів, які залежать від них.

Всього існує два види семплінгу, а саме семлінг «наперед» (head-based) та «опісля» (tail-based). В першому випадку, рішення про семплінг відбувається до створення необхідних даних для відслідковування події. А тому, при підході «наперед», навантаження на систему відбувається тільки у випадку якщо таке рішення було позитивним. І навпаки, при підході «опісля», генерація необхідних даних відбувається до рішення про семплінг. Сгенеровані дані надсилаються до бекенду системи відслідковування подій, а тому, дозволяє семплінгу зберігати лише найбільш інформативні дані і надавати більш повну картину подорожі окремого процесу в системі.

Використання мікросервісної архітектури для розробки як малих, так і великих програм лише зростає останні роки. Мікросервіс має ряд переваг перед монолітною архітектурою; однак це не обійшлося без додаткового ускладнення. В якості конкретного прикладу, це особливо відчувається, коли намагаєшся відстежити конкретний запит, проаналізувати його і вказати конкретне місце де що сталося і коли саме запит переходить від одного сервісу до іншого.

Відстеження подій в мікросервісній архітектурі – це саме про змогу відслідкувати увесь шлях, який пройшов запит починаючи від програмного інтерфейсу або мобільного додатка до кожного окремого мікросервісу, звідти до бази даних і назад. Відстеження подій в розподілених системах може використовуватися для моніторингу швидкості програми. Або використовується розробниками для оптимізації їх коду, що стає все складніше, адже сучасна розробка програм все більше переходить у хмарне середовище. В даний час існує багато комерційних продуктів в цій сфері і рішень з відкритим кодом. Багато рішень для відстеження подій у розподілених системах засновані на, або ж надихалися дослідженням від Google щодо їх системи Dapper.

Розподілені системи в основному складаються з п'яти компонентів. Першим є проміжне програмне забезпечення (middleware), що має підключити систему відслідковування подій до мікросервісу. Дані збираються в точках відстеження клієнтського додатку. Запит може бути оброблений у двох точках: точці де запит надходить до сервісу і точці перед передачею його в інший сервіс. Зібрані дані в цих точках спільно і називаються єдиним слідом, або трейсом (trace).

Другий серед цих п'яти компонентів, з яких складається розподілена система, є поширення контексту (context propagation). Було запропоновано кілька рішень для відслідковування слідів одного запиту який проходить через різні сервіси. Поширення контексту – це коли точки відстеження отримують глобальний ідентифікатор для даних, які вони створюють, який є унікальним для кожної відстежуваної події, а передача такого глобального ідентифікатора має виконуватись разом з потоком виконання. Потім, згрупувавши такі трейси за їх ідентифікатором, увесь шлях запиту можна реконструювати.

Третім є зберігання таких трейсів. А саме спосіб передачі таких даних до способу зберігання. Інтерфейс системи відстеження подій реалізовано за допомогою конкретної бібліотеки, яка передає зібрані дані до бекенд-частини системи відстеження, як правило, використовуючи технологію відправлення таких даних в пакетах, щоб зменшити кількість окремих запитів. Звіти завжди створюються асинхронно у фоні, щоб не перешкоджати запитам які є критично важливими для бізнес-логіки програми [7]. Коли запит надходить до мікросервісу або відсилається з нього, метадані та інша інформація, пов'язані з операцією також додаються до даних необхідних для такого відслідковування. Бібліотека яка реалізує систему відслідковування збирає ці дані та передає їх до колектора (collector).

Колектор зберігає ці дані у базі даних, і потім ці дані аналізуються шляхом відстеження конкретних процесів через інтерфейс.

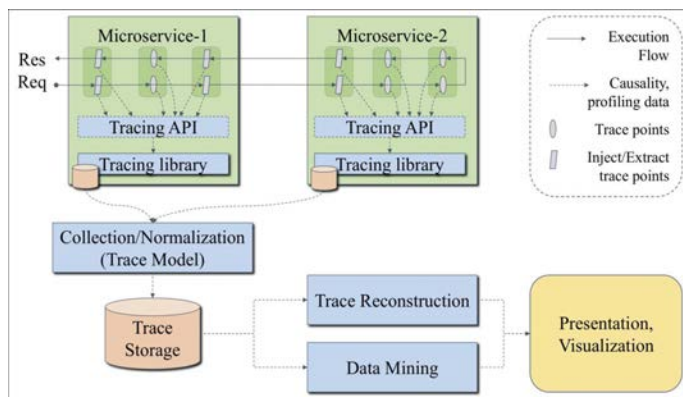


Рис. 2. Анатомія відслідковування подій в мікросервісній архітектурі

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що відстеження подій у розподілених системах є критично важливим компонентом при роботі з мікросервісною архітектурою. Визначено основні поняття: спен (span) як найменша логічна одиниця, трейс (trace) для відслідковування повного шляху запиту, багаж (baggage) для передачі метаданих, теги (tags) для забезпечення контексту та семплінг (sampling) для оптимізації навантаження.

Проаналізовано, що сучасні розподілені системи відстеження подій складаються з п'яти основних компонентів: проміжного програмного забезпечення для підключення системи до мікросервісів, механізму поширення контексту, системи зберігання трейсів, колектора для збору даних та інтерфейсу для аналізу зібраної інформації. Встановлено, що такі системи використовують асинхронний підхід для збору та обробки даних, щоб мінімізувати вплив на основну роботу сервісів.

Дослідження показало, що при впровадженні систем відстеження подій особливу увагу слід приділяти механізмам поширення контексту та вибору оптимальної стратегії семплінгу, оскільки ці фактори безпосередньо впливають на продуктивність та ефективність всієї системи моніторингу. Визначено, що правильно налаштована система відстеження подій дозволяє ефективно діагностувати проблеми, оптимізувати продуктивність та забезпечувати надійність роботи розподілених систем на базі мікросервісної архітектури.

Перспективами подальших досліджень вбачаємо дослідження в напрямку відстеження аномалій у розподілених системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Swoyer S., Loukides M. Microservices Adoption in 2020. URL: <https://www.oreilly.com/radar/microservices-adoption-in-2020> (дата звернення: 20.12.2024).
2. Fowler M., Lewis J. Microservices a definition of this new architectural term. 2014. URL: <https://www.martinfowler.com/articles/microservices.html> (дата звернення: 20.12.2024).
3. Lewis J. Micro services – Java, the Unix Way. 2012. URL: <http://2012.33degree.org/talk/show/67> (дата звернення: 20.12.2024).

4. Kharenko A. Monolithic vs. Microservices Architecture. 2015. URL: <https://articles.microservices.com/monolithic-vs-microservices-architecture-5c4848858f59> (дата звернення: 20.12.2024).
5. OpenTracing API docs. What is a Span? 2022. URL: <https://opentracing.io/docs/overview/spans> (дата звернення: 20.12.2024).
6. Shkuro Y. Mastering Distributed Tracing: Analyzing performance in microservices and complex systems. Birmingham : Packt Publishing, 2019. 372 p. <https://www.oreilly.com/library/view/mastering-distributed-tracing/9781788628464/>
7. Shkuro Y. Embracing context propagation. 2019. URL: <https://medium.com/jaegertracing/embracing-context-propagation-7100b9b6029a> (дата звернення: 20.12.2024).
8. Robert Heinrich, André van Hoorn, Holger Knoche, Fei Li, Lucy Ellen Lwakatare, Claus Pahl, Stefan Schulte, and Johannes Wettinger. 2017. Performance Engineering for Microservices: Research Challenges and Directions. In Proceedings of the 8th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering Companion (ICPE '17 Companion). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 223–226. <https://doi.org/10.1145/3053600.3053653>
9. André de Camargo, Ivan Salvadori, Ronaldo dos Santos Mello, and Frank Siqueira. 2016. An architecture to automate performance tests on microservices. In Proceedings of the 18th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services (iiWAS '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 422–429. <https://doi.org/10.1145/3011141.3011179>
10. Holger Knoche. 2016. Sustaining Runtime Performance while Incrementally Modernizing Transactional Monolithic Software towards Microservices. In Proceedings of the 7th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering (ICPE '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 121–124. <https://doi.org/10.1145/2851553.2892039>
11. T. Salah, M. Jamal Zemerly, Chan Yeob Yeun, M. Al-Qutayri and Y. Al-Hammadi, "The evolution of distributed systems towards microservices architecture," 2016 11th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), Barcelona, Spain, 2016, pp. 318–325, doi: 10.1109/ICITST.2016.7856721.

REFERENCES:

1. Swoyer, S., & Loukides, M. (2020). Microservices Adoption in 2020. Retrieved from <https://www.oreilly.com/radar/microservices-adoption-in-2020>
2. Fowler, M., & Lewis, J. (2014). Microservices a definition of this new architectural term. Retrieved from <https://www.martinfowler.com/articles/microservices.html>
3. Lewis, J. (2012). Micro services – Java, the Unix Way. Retrieved from <http://2012.33degree.org/talk/show/67>
4. Kharenko, A. (2015). Monolithic vs. Microservices Architecture. Retrieved from <https://articles.microservices.com/monolithic-vs-microservices-architecture-5c4848858f59>
5. OpenTracingAPI docs. (2022). What is a Span? Retrieved from <https://opentracing.io/docs/overview/spans>
6. Shkuro Y. (2019). Mastering Distributed Tracing: Analyzing performance in microservices and complex systems. Birmingham : Packt Publishing,. 372 p. <https://www.oreilly.com/library/view/mastering-distributed-tracing/9781788628464/>
7. Shkuro Y. (2019). Embracing context propagation. URL: <https://medium.com/jaegertracing/embracing-context-propagation-7100b9b6029a>.
8. Robert Heinrich, André van Hoorn, Holger Knoche, Fei Li, Lucy Ellen Lwakatare, Claus Pahl, Stefan Schulte, and Johannes Wettinger (2017). Performance Engineering for Microservices: Research Challenges and Directions. In Proceedings of the 8th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering Companion (ICPE '17 Companion). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 223–226. <https://doi.org/10.1145/3053600.3053653>

9. André de Camargo, Ivan Salvadori, Ronaldo dos Santos Mello, and Frank Siqueira (2016). An architecture to automate performance tests on microservices. In Proceedings of the 18th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services (iiWAS '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 422–429. <https://doi.org/10.1145/3011141.3011179>

10. Holger Knoche (2016). Sustaining Runtime Performance while Incrementally Modernizing Transactional Monolithic Software towards Microservices. In Proceedings of the 7th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering (ICPE '16). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 121–124. <https://doi.org/10.1145/2851553.2892039>

11. T. Salah, M. Jamal Zemerly, Chan Yeob Yeun, M. Al-Qutayri and Y. Al-Hammadi (2016). "The evolution of distributed systems towards microservices architecture," 11th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), Barcelona, Spain, pp. 318-325, doi: 10.1109/ICITST.2016.7856721.

UDC 004.942:004.9:510.23:631.67

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.4>

APPLICATION OF SET THEORY FOR THE MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF DEVELOPING AN IOT SYSTEM FOR AUTOMATED SOIL MOISTURE MONITORING

Ziuziun V. I. – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Management Technologies
of the Taras Shevchenko National University of Kyiv
ORCID ID: 0000-0001-6566-8798
Scopus-Author ID: 57190402784

Starodubets V. A. – Master at the Department of Management Technologies
of the Taras Shevchenko National University of Kyiv
ORCID ID: 0009-0003-1213-1163

The article explores the application of set theory for the mathematical substantiation of an IoT-based system designed for automated soil moisture monitoring. The innovative approach integrates the concepts of the Internet of Things with modern automation methods to ensure efficient management of agricultural resources. The theoretical framework of the study focuses on developing a mathematical model that employs set theory principles to formalize the relationships between sensors, monitoring parameters, external conditions, and data processing algorithms. Special attention is given to the development of algorithms for collecting, analyzing, and processing data from soil moisture sensors, enabling continuous soil condition monitoring. These algorithms utilize set-theoretic operations to merge data from various sensors and filter out noise. Based on the proposed models, the article presents the architecture of an IoT system that includes hardware components such as sensors and controllers, network data transmission protocols, a cloud environment for data storage and analysis, and an interactive user interface. A detailed analysis of the practical aspects of system implementation is provided, covering sensor specifications, energy consumption, network stability, interoperability, and integration with external weather prediction modules. Particular emphasis is placed on data security during transmission and system resilience to failures. The expected outcomes of implementing the system include optimized irrigation processes, increased crop yields, reduced resource consumption, and minimized environmental impact. The system facilitates timely responses to changes in soil moisture levels, enabling informed resource management decisions. Additionally, the article examines the potential for scaling the IoT system to other agricultural applications, such as monitoring soil temperature, light levels, and acidity indicators. The findings validate the feasibility of using set theory to construct formal models that enhance monitoring accuracy, accelerate data analysis, and improve management efficiency in the agricultural sector.

Key words: information system, IoT system, mathematical modeling, set theory, soil moisture control, soil moisture monitoring.

Зюзиун В. І., Стародубець В. А. Застосування теорії множин для математичного обґрунтування розробки проєкту створення IoT-системи для автоматичного моніторингу рівня вологості ґрунтів

У статті розглядається застосування теорії множин для математичного обґрунтування розробки проєкту створення IoT-системи для автоматичного моніторингу рівня вологості ґрунтів. Інноваційний підхід базується на інтеграції концепцій Інтернету речей із сучасними методами автоматизації для забезпечення ефективного управління сільськогосподарськими ресурсами. Теоретична частина статті зосереджена на побудові математичної моделі, яка використовує принципи теорії множин для формалізації відносин між сенсорами, параметрами моніторингу, зовнішніми умовами та алгоритмами обробки даних. Особливу увагу приділено розробці алгоритмів збору, аналізу та обробки даних із сенсорів вологості, які забезпечують безперервний контроль стану ґрунту. Ці алгоритми базуються на використанні теоретико-множинних операцій для об'єднання даних із різних сенсорів і фільтрації шуму. На основі запропонованих моделей представлено архітектуру IoT-системи, що включає компоненти апаратного забезпечення, такі

як сенсори та контролери, мережеві протоколи передачі даних, хмарне середовище для зберігання та аналізу інформації, а також інтерактивний інтерфейс для користувача. Проведено детальний аналіз практичних аспектів впровадження системи, включаючи технічні характеристики сенсорів, енергоспоживання, стабільність зв'язку, інтероперабельність мережі та інтеграцію із зовнішніми модулями прогнозування погодних умов. Значна увага приділяється питанням безпеки даних, що передаються, та стійкості системи до відмов. Очікувані результати застосування системи включають оптимізацію поливу, підвищення врожайності, зменшення витрат на ресурси та зниження впливу на навколишнє середовище. Система дозволяє вчасно реагувати на зміни рівня вологості та приймати обґрунтовані рішення щодо управління ресурсами.

Окрім цього, стаття розглядає перспективи масштабування IoT-системи для застосування в інших агротехнологіях, таких як контроль температури ґрунту, рівня освітленості та показників кислотності. Отримані результати підтверджують доцільність використання теорії множин для побудови формальних моделей, що підвищують точність моніторингу, швидкість аналізу даних та ефективність управління у сфері агро-сектору.

Ключові слова: інформаційна система, IoT-система, математичне моделювання, теорія множин, контроль вологості ґрунтів, моніторинг вологості ґрунтів.

Introduction. Modern agriculture faces a range of challenges, including the growing demand for efficient use of natural resources, the impact of climate change, and the need to optimize production processes to increase crop yields. One of the most pressing issues is the rational management of water resources, which directly affects soil health and agricultural productivity. Traditional methods of monitoring soil moisture levels are often insufficiently accurate, labor-intensive, or unable to provide real-time data.

The Internet of Things (IoT) offers innovative approaches to automating and managing agricultural processes. Utilizing IoT systems for monitoring soil moisture levels opens up opportunities for precise data collection, analysis, and processing, enabling prompt and well-informed decision-making. At the same time, designing such systems requires a robust theoretical foundation that accounts for the complexity of interactions among various components, the influence of external factors, and the needs of stakeholders.

One of the promising approaches to addressing this challenge is the application of set theory to develop a mathematical model that formalizes the system's key parameters. This approach enables a clear structuring of relationships among material, human, software, and informational resources, while also accounting for the impact of the external environment and the project's parameter requirements.

The aim of the research. The development of a mathematical foundation for designing an IoT system for automated soil moisture monitoring, based on the principles of set theory, aims to improve monitoring accuracy, optimize the management of agricultural resources, and minimize environmental impact.

Analysis of recent research and publications. In reference [1], key technological solutions for smart farming are presented, covering the use of IoT for monitoring soil moisture, light, and temperature. Special attention is given to critical challenges, such as ensuring reliable connectivity, managing energy consumption, and securing data. IoT technologies greatly enhance the efficiency of agricultural management by enabling real-time monitoring and optimizing resource usage.

In publication [2], the advantages of real-time monitoring of agricultural processes using IoT systems are examined. It provides a detailed explanation of how IoT helps optimize the use of water resources, monitor soil conditions, and improve crop yields. A key aspect highlighted is the integration of technologies that automate monitoring, ensuring farmers have access to accurate and timely data.

In study [3], the paper explores the key devices, platforms, network protocols, and data processing technologies relevant to agriculture.

In publication [4], the ten most significant IoT applications in 2022 are presented, with a focus on smart cities, logistics, and agriculture. It highlights the rapid advancement of IoT technologies and their growing impact across various industries, emphasizing the importance of integrating these systems for more effective management.

Publication [5] discusses the role of IoT in supporting sustainable agriculture, which helps reduce the environmental impact of agricultural practices. IoT systems enable efficient monitoring of crop growth conditions and optimize water and fertilizer consumption, lowering the ecological footprint. Additionally, these technologies contribute to increased yields and reduced resource costs, which is vital for the sustainable development of the agricultural sector.

In study [6], methods for optimizing resource management in agriculture through IoT integration are explored, while paper [7] emphasizes the role of big data analytics in enhancing the performance of IoT systems.

Presentation of the main research material. The proposed IoT system for automated soil moisture monitoring will consist of several key components that ensure its functionality and interaction with the external environment. This system is designed to maintain optimal conditions for the growth of agricultural crops through the use of modern monitoring and irrigation management technologies.

The broader framework of the system includes external factors that influence its operation and define its needs and requirements. Climate conditions necessitate continuous soil moisture monitoring, while environmental organizations may offer guidelines for the sustainable use of resources. Research institutions play a role in implementing new technologies and methodologies. Ultimately, the consumers of the products benefit from the system, as they receive high-quality produce.

The external environment encompasses all external influences on the system, such as climatic conditions and regulatory requirements. These factors may vary depending on geographical location and other conditions.

The office area includes rooms used for administrative and managerial functions, while the equipment room contains the necessary hardware to support the system's operation. The break room provides a comfortable environment for the staff, and the restrooms ensure basic sanitary conditions.

Equipment. Soil moisture sensors (FC-28) are installed directly in the soil to continuously monitor its condition. The ESP8266 microcontroller processes data from the sensors and transmits it to the server. The server collects all the data, enabling analysis, storage, and irrigation management. Computers are used for working with the database and system interface.

Team members. The project documentation manager is responsible for organizing and maintaining all project documentation. The agricultural consultant provides specialized knowledge to optimize processes. The project manager coordinates all stages of system implementation and operation. The accountant manages financial operations, while the technical team ensures technical support and equipment maintenance.

User interface. The user interface enables operators to seamlessly interact with the system, facilitating monitoring and control. A remote irrigation activation button streamlines the irrigation process by automating it based on real-time sensor data. A detailed field map provides a visual representation of soil moisture distribution across different areas, allowing for targeted decision-making. The system's database securely stores all collected data, supporting comprehensive analysis and informed decision-making.

External Elements. The IoT system collaborates with a network of stakeholders, including clients, technology providers, financial institutions, environmental

organizations, and research institutions. These external entities supply essential resources, information, and expertise, ensuring the system's efficient functionality and long-term success.

Thus, the IoT system for automated soil moisture monitoring represents a comprehensive solution that integrates various components and subsystems for the effective management of agricultural processes.

The conceptual model of this IoT system is shown in Fig. 1.

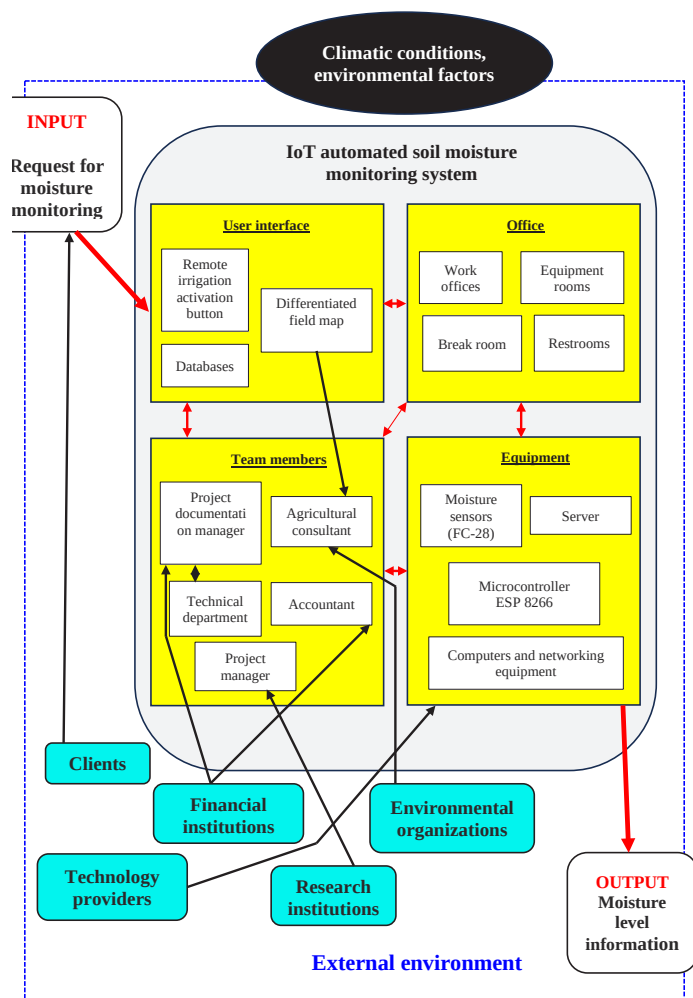


Fig. 1. Conceptual model of the IoT system

Set theory is a versatile mathematical tool that facilitates the creation of formal models for complex systems comprising numerous components with diverse properties and interconnections. Its application in the development of an IoT system for automated soil moisture monitoring is particularly advantageous, as it enables the design of a clear and adaptive system architecture capable of responding to dynamic changes in external conditions and internal parameters.

The significance of this approach is substantiated by various studies. For instance, the authors in [8] examines the collaboration between Industry 4.0 and IoT, demonstrating their potential to revolutionize industries through intelligent, automated systems that boost productivity and cut costs. It highlights IoT's applications in agriculture, healthcare, and logistics, offering solutions for precision farming, smart greenhouses, and enhancing transparency in supply chain operations. In [9], explores the tools and equipment used in agricultural IoT applications and the challenges of integrating these technologies with traditional farming practices. It highlights the benefits of IoT and cloud computing for enhancing farming processes, from sowing to packaging and transportation. Study [10] outlines data filtering methods based on set-theoretic operations, which can be adapted for sensor networks. Moreover, studies [11–12] demonstrate the use of set theory and fuzzy sets to construct mathematical models addressing environmental and ecological challenges.

IoT systems designed for monitoring soil moisture levels consist of numerous interconnected components, including sensors, software, hardware, network protocols, and external factors such as climatic conditions. Set theory offers a formal framework to model these relationships, providing a robust mathematical foundation for defining the hierarchy of system elements and their interactions. This framework enhances comprehension of the system's functional structure, streamlines architectural design, and ensures a modular approach.

In addition, the tools of set theory play a vital role in organizing and processing large datasets. IoT systems generate vast volumes of data that require efficient structuring and analysis. By applying set-theoretic operations like union, intersection, and difference, data can be organized, duplicates removed, irrelevant information filtered out, and critical insights highlighted. This method greatly increases the speed and precision of data analysis, which is essential for promptly identifying changes in soil conditions and making well-informed decisions.

A key advantage of using this mathematical tool is its support for optimizing project resource management. When designing an IoT system, various resources must be considered, such as material resources (sensors, controllers, network equipment), human resources, software, and information. Set theory provides an efficient way to model these resources as sets with defined properties and interrelationships. This approach allows for balancing their usage, preventing excessive expenditure, and ensuring the system's robustness to changes or unforeseen failures.

Additionally, set theory contributes to adaptability to external demands. The real-world operating environment of an IoT system is dynamic and complex, including factors like weather conditions, soil types, seasonality, and stakeholder requirements. Using set theory, these factors can be represented as separate sets that interact with the system. This enables the creation of adaptive algorithms that automatically account for changes in the environment, ensuring the system operates reliably and efficiently even in unpredictable circumstances.

Therefore, the application of set theory provides a structured and systematic approach to designing an IoT system for soil moisture monitoring. This approach not only formalizes the system's structure but also enhances its performance by ensuring accuracy, flexibility, and adaptability to real-world conditions.

The mathematical model will primarily focus on evaluating the quality, risks, and effectiveness of the project, considering all the required resources and parameters. Set theory will be employed to construct the mathematical model.

The proposed model, in general terms, will have the following expression:

$$M = \{G^M, P^H, R^P, I\}, \quad (1)$$

G is the parameter that characterizes the set of material resources involved in the project, which is defined as:

$$G = \{g_1^M, g_2^M, g_3^M\}, \quad (2)$$

where g_1^M – FC28 sensor; g_2^M – ESP8266 microcontroller; g_3 – irrigation system.

P^H is the parameter that characterizes the set of human resources participating in the project, which is defined as:

$$P^H = \{p_1^H, p_2^H, p_3^H, p_4^H, p_5^H, p_6^H, p_7^H, p_8^H, p_9^H\}, \quad (3)$$

where p_1^H – project manager; p_2^H – system architect; p_3^H – designer; p_4^H – tester; p_5^H – developer; p_6^H – analyst; p_7^H – agricultural consultant; p_8^H – documentation manager; p_9^H – accountant.

R^P is the parameter that characterizes the set of software resources used in the project, which is defined as:

$$R^P = \{r_1^P, r_2^P, r_3^P\}, \quad (4)$$

where r_1^P – Python programming language; r_2^P – SQL database; r_3^P – web server.

I is the parameter that characterizes the set of informational resources in the project, which is defined as:

$$I = \{i_1^I, i_2^I, i_3^I, i_4^I\}, \quad (5)$$

where i_1^I – data from moisture sensors; i_2^I – data on types of grain crops; i_3^I – GIS (Geographic Information System); i_4^I – technical documentation and guidelines.

Stakeholders, who have a direct impact not only on the functionality of the future product of the project but also on the success of the entire project, significantly influence the success of the IT project.

The project stakeholders can be represented as a set of parameters:

$$O = \{O^L, O^D\}, \quad (6)$$

where O^L – parameter that characterizes the stakeholders (long-term project environment); O^D – parameter that characterizes the set of project participants (close project environment).

Let's examine the parameter O^L in more detail as the set of subsets that compose it:

$$O^L = \{o_1^L, o_2^L, o_3^L, o_4^L, o_5^L\}, \quad (7)$$

where o_1^L – farmers and agricultural enterprises; o_2^L – manufacturers and distributors of modern agricultural technologies; o_3^L – government agencies and regulators; o_4^L – environmental organizations; o_5^L – research and educational institutions.

Let's examine the parameter O^D in more detail as the set of subsets that compose it:

$$O^D = \{o_1^D, o_2^D\}, \quad (8)$$

where o_1^D – project team; o_2^D – project sponsors.

For IT projects, the creation of complex IT products is characterized by a service component that requires strategic services, development services, transitions, operations, and continuous improvements. The set of relevant parameters can be represented as a combination of:

$$S = \{S^I, S^B, S^{US}\}, \quad (9)$$

where S^I – parameter that characterizes the set of services supporting the IT infrastructure; S^B – parameter that characterizes the set of services supporting the business application; S^{US} – parameter that characterizes the set of services providing user support.

Let's examine the parameter S^I in more detail as the set of subsets that compose it:

$$S^I = \{s_1^I, s_2^I, s_3^I\}, \quad (10)$$

where s_1^I – monitoring and management of the moisture sensor system; s_2^I – storage and analysis of sensor data; s_3^I – web server support.

Let's examine the parameter S^B in more detail as the set of subsets that compose it:

$$S^B = \{s_1^B, s_2^B, s_3^B\}, \quad (11)$$

where, s_1^B – development and support of software for data processing; s_2^B – development and support of the user interface; s_3^B – development and support of the web server.

Let's examine the parameter S^{US} in more detail as the set of subsets that compose it:

$$S^{US} = \{s_1^{US}, s_2^{US}, s_3^{US}\}, \quad (12)$$

where s_1^{US} – technical support for system users (helpline); s_2^{US} – usage consultations; s_3^{US} – introductory course on operation.

As mentioned earlier, the use of technologies for creating the IT product was discussed. Additionally, this group also includes technologies for development, management, testing, operation, and maintenance of the IT project product. The set of relevant parameters W can be represented as a combination of:

$$W = \{W^C, W^M, W^I\}, \quad (13)$$

where W^C – parameter that characterizes the set of technologies for product development and testing; W^M – parameter that characterizes the set of project management technologies; W^I – parameter that characterizes the set of technologies for implementing and supporting the project product.

Let's examine the parameter W^C in more detail as the set of subsets that compose it:

$$W^C = \{w_1^C, w_2^C, w_3^C, w_4^C\}, \quad (14)$$

where w_1^C – python; w_2^C – SQL; w_3^C – UNIT testing for code correctness verification; w_4^C – frameworks for rapid server deployment.

Let's examine the parameter W^M in more detail as the set of subsets that compose it:

$$W^M = \{w_1^M, w_2^M\}, \quad (15)$$

where w_1^M – Project Management Software for planning and controlling project work; w_2^M – AGILE technologies for efficient project management.

Let's examine the parameter W^I in more detail as the set of subsets that compose it:

$$W^I = \{w_1^I, w_2^I, w_3^I, w_4^I, w_5^I, w_6^I\}, \quad (16)$$

where w_1^I – python; w_2^I – SQL; w_3^I – web server; w_4^I – sensors; w_5^I – microcontrollers; w_6^I – irrigation system.

The components of the IT product configuration are related to the definition of elements, their parameters, and their relationship to the developed information system. The same applies to the elements of the project and the project environment. The set of relevant parameters can be represented as a combination of:

$$K = \{K^P, K^S, K^E, K^{DP}, K^{DS}\}, \quad (17)$$

where K^P – the set of project parameters; K^S – the set of project product parameters; K^E – the set of parameters of the project's external environment; K^{DP} – the set of project requirements; K^{DS} – the set of product requirements.

Let's examine the parameter K^P in more detail as the set of subsets that compose it:

$$K^P = \{k_1^P, k_2^P, k_3^P, k_4^P\}, \quad (18)$$

where k_1^P – funding volume; k_2^P – project duration; k_3^P – project team composition; k_4^P – resources.

Let's examine the parameter K^S in more detail as the set of subsets that compose it:

$$K^S = \{k_1^S, k_2^S, k_3^S, k_4^S\}, \quad (19)$$

where k_1^S – accuracy of soil moisture measurement; k_2^S – system scalability; k_3^S – energy efficiency; k_4^S – user-friendliness for end-users.

Let's examine the parameter K^E in more detail as the set of subsets that compose it:

$$K^E = \{k_1^E, k_2^E, k_3^E, k_4^E\}, \quad (20)$$

where k_1^E – climatic conditions of the project implementation region; k_2^E – availability of infrastructure for sensor installation; k_3^E – potential risks and threats to the project; k_4^E – socio-economic context.

Let's examine the parameter K^{DP} in more detail as the set of subsets that compose it:

$$K^{DP} = \{k_1^{DP}, k_2^{DP}, k_3^{DP}, k_4^{DP}, k_5^{DP}\}, \quad (21)$$

where k_1^{DP} – defining the project implementation strategy, considering potential risks and taking steps to mitigate them; k_2^{DP} – developing the budget and planning the use of financial resources, including creating control and reporting mechanisms; k_3^{DP} – forming and managing the project team, defining roles and responsibilities of participants; k_4^{DP} – establishing a monitoring system for the project's progress and preparing reports to assess achievements and identify potential issues; k_5^{DP} – developing a project completion plan and transitioning to its operation or further development.

Let's examine the parameter K^{DS} in more detail as the set of subsets that compose it:

$$K^{DS} = \{k_1^{DS}, k_2^{DS}, k_3^{DS}, k_4^{DS}, k_5^{DS}, k_6^{DS}\}, \quad (22)$$

where k_1^{DS} – the system must enable real-time monitoring of soil moisture to respond quickly to changes and take necessary actions; k_2^{DS} – energy efficiency; k_3^{DS} – the system must have a user-friendly interface and be easy to use for farmers and other stakeholders. It should also be easily integrated with existing agricultural management systems; k_4^{DS} – the system must provide accurate and reliable data collection on soil moisture for further analysis; k_5^{DS} – the system must provide tools for data analysis and report generation, allowing users to obtain useful information for decision-making; k_6^{DS} – the system must ensure a high level of data security to protect the confidentiality and integrity of the information.

The parameters of the project product are presented as a set of sets:

$$L = \{L^S, L^P\}, \quad (23)$$

where L^S – the set of throughput values of the product components; L^P – the total number of throughput capabilities of all product components.

Let's examine the parameter L^S in more detail as the set of subsets that compose it:

$$L^S = \{l_1^S, l_2^S\}, \quad (24)$$

where l_1^S – data collection system: 1000 data/sec (500 operations/min); l_2^S – data analysis system: 100 data/sec (500 operations/min).

Let's examine the parameter L^P in more detail as the set of subsets that compose it:

$$L^P = \{l_1^P, l_2^P\}, \quad (25)$$

where l_1^P – data collection; l_2^P – data analysis.

The parameters of the project product are presented as A set of sets:

$$A^E = \{a_1^E, a_2^E\}, \quad (26)$$

where a_1^E – climatic conditions; a_2^E – economic and market conditions.

The next step is to build a mathematical model for monitoring the quality, risks, and effectiveness of the project.

1. The set of input parameters (X):

$$X = \{G, P, R, O, S, Z, K, L, A\}, \quad (27)$$

where G – material resources; P – human resources; R – software resources; I – information resources; O – stakeholders; S – services supporting IT infrastructure (SI); W – technologies for developing and testing the project product; K – project parameters; L – project product parameters; A – external environment parameters of the project.

2. The set of output parameters (Y):

$$Y = \{Q, R, E, H\}, \quad (28)$$

where Q – project quality; R – project risks; E – project efficiency; H – communication channels between the elements of the IT project management model.

3. The number of direct links is represented as a set:

$$H^P = \{h_1^P, h_2^P, h_3^P, h_4^P\}, \quad (29)$$

Direct links between all the elements of the model. Assume that direct links include communication between the main resources, for example, 10 direct links.

4. The number of feedback links is represented as a set:

$$H^{Zv} = \{h_1^{Zv}, h_2^{Zv}, h_3^{Zv}, h_4^{Zv}\}, \quad (30)$$

Feedback links between all elements of the model. Assume that there are 5 feedback links. The set of input parameters for the project model (X) is represented as:

$$X = \{x_i, i=1, 2, \dots, N_i\}. \quad (31)$$

The number of knowledge areas in the model is M_i . Assume that $N_i=22$.

The project quality assessment (Q) is defined as:

$$Q = \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{TP} \sum_{k=1}^{10} (Q_1(x_i, t_j) + Q_2(h_k)) \quad (32)$$

under constraint:

$$\forall (x_i \in X) (a_i \in Q) \exists h_i \in TP, TP \geq 0 \text{ ma } Q \geq Q_{\min}, Q_{\min} \geq 0, \quad (33)$$

where $Q_{\min}$ – the minimum quality level of the project; Q_1 – the quality assessment function based on the creation of input parameters from X at time $t_j \in TP$; Q_2 – the quality assessment function for communication channels between elements of the model from X .

The project risk assessment (R) is defined as:

$$R = \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{TP} \sum_{k=1}^{10} (R_1(x_i, t_j) + R_2(h_k)) \quad (34)$$

under constraint:

$$\forall (x_i \in X) (a_i \in Q) \exists h_i \in TP, TP \geq 0 \text{ ma } R \leq R_{\max}, R_{\max} \geq 0, \quad (35)$$

where $R_{\max}$ – the maximum allowable level of project risks; R_1 – the risk assessment function based on the creation of input parameters from X at time $t_j \in TP$; R_2 – the risk assessment function for communication channels between elements of the model from X .

The project effectiveness assessment (E) is defined as:

$$E = \sum_{i=1}^{22} \sum_{j=1}^{TP} \sum_{k=1}^{10} (E_1(x_i, t_j) + E_2(h_k)) \quad (36)$$

under constraint:

$$\forall (x_i \in X) (a_i \in \Omega) \exists h_i \in TP, TP \geq 0 \text{ ma } E \geq E_{\min}, E_{\min} \geq 0 \quad (37)$$

where $E_{\min}$ – the minimum level of project effectiveness; E_i – the effectiveness assessment function based on the creation of input elements from X at time $t_i \in TP$; E_j – the effectiveness assessment function for communication channels between elements of the model from X .

Example values: 1. *Material resources*: x_1 – FC28 sensor; x_2 – ESP8266 microcontroller; x_3 – irrigation system. 2. *Human resources*: x_4 – project manager; x_5 – system architect; x_6 – designer; x_7 – tester; x_8 – developer; x_9 – analyst; x_{10} – agricultural consultant; x_{11} – documentation manager; x_{12} – accountant. 3. *Software resources*: x_{13} – Python programming language; x_{14} – SQL database; x_{15} – web server. 4. *Information resources*: x_{16} – data from humidity sensors; x_{17} – data on types of grain crops; x_{18} – GIS (Geographic Information System); x_{19} – technical documentation and manuals. 5. *Services*: x_{20} – monitoring and management of the humidity sensor system; x_{21} – storage and analysis of sensor data; x_{22} – web server support.

For each resource and project component, functions evaluating quality, risk, and efficiency are calculated based on their specific values and duration of use. Furthermore, corresponding functions are defined for the communication channels linking the various project elements.

This approach enables a comprehensive analysis of the project's quality, risks, and efficiency, providing a robust foundation for effectively managing and optimizing the development of the IoT system designed for soil moisture monitoring.

Conclusions. The integration of set theory as a mathematical framework for developing an IoT system for automated soil moisture monitoring offers a groundbreaking approach in agricultural technology. By utilizing the foundational principles of set theory, the complex interactions among critical system elements – such as material and human resources, software and informational assets, stakeholders, IT infrastructure support services, development and testing technologies, project parameters, product attributes, and external environmental factors – have been systematically modeled. This structured methodology enhances the precision of system design and significantly improves decision-making processes in project management, paving the way for more efficient and scalable solutions.

The proposed IoT system demonstrates significant potential for optimizing irrigation, rationalizing resource usage, reducing costs, and minimizing environmental impact. Moreover, it promotes the integration of modern technologies into agriculture, which is critically important in addressing global challenges such as climate change and water scarcity.

Future research prospects include expanding mathematical models to account for additional parameters, such as forecasting soil moisture dynamics using machine learning, and developing multifunctional IoT systems capable of monitoring temperature, light levels, and soil acidity. Special attention should also be directed toward integrating IoT systems with big data (Big Data) and artificial intelligence to enhance the adaptability and autonomy of systems in real time.

In conclusion, this research not only establishes a theoretical foundation for further improvement of IoT solutions but also paves the way for groundbreaking automation advancements that will significantly impact the development of agricultural technologies.

BIBLIOGRAPHY:

1. "IoT in Agriculture: 9 Technology Use Cases for Smart Farming (and Challenges to Consider)." Retrieved from: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/> (access date 18 December 2024).

2. "Internet of Things in Agriculture: What is IoT and how is it implemented in agriculture?" Retrieved from: <https://www.cropin.com/iot-in-agriculture?> (access date 20 December 2024).

3. Navarro E., Costa N., Pereira A., "Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming," *Sensors*, 2020, (15), 1-29. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/s20154231> (access date 19 December 2024).

4. "Top 10 Applications of IoT in 2022." Retrieved from: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/top-applications-internet-of-things/> (access date 19 December 2024).
5. "IoT in agriculture sustainability: Driving eco-friendly and yield-enhancing farming practices." Retrieved from: <https://www.ignitec.com/insights/iot-in-agriculture-sustainability-driving-eco-friendly-and-yield-enhancing-farming-practices/> (access date 20 December 2024).
6. Ahmed S. and Kadir R., "Optimization Techniques in IoT-Based Smart Agriculture," *Sensors*, 2022, 559-572.
7. Chopra P. and Singh N., "The Role of IoT and Big Data Analytics in Modern Agriculture," *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, 172.
8. Назаренко Н., Заєць С. та Киричук Ю. Співпраця індустрії 4.0 та інтернету речей IoT, Вісник Хмельницького національного університету, 2024, 341(5), 74-79. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-341-5-10>
9. Dhanaraju M. (ed.), "Formal Models for Resource Management in Agriculture using IoT," *Agriculture*, 2022, (12), 1-26. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
10. Garcia R. (ed.), "Data Filtering and Integration in IoT Systems: A Set-Theoretic Perspective," *IoT Journal*, 2023, pp. 112-124.
11. Зюзюн В. І. Системна модель управління екологічними ризиками в проєктах. Вісник Національного транспортного університету, 2016, (2), 84-92.
12. Зюзюн В. І. Методи та моделі управління екологічними ризиками в проєктах розвитку транспорту. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Київ – Національний транспортний університет, 2017.

REFERENCES:

1. IoT in Agriculture: 9 Technology Use Cases for Smart Farming (and Challenges to Consider). Retrieved from: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/> (accessed 18 December 2024).
2. Internet of Things in Agriculture: What is IoT and how is it implemented in agriculture? Retrieved from: <https://www.cropin.com/iot-in-agriculture> (accessed 20 December 2024).
3. Navarro E., Costa N. and Pereira A. (2020) Systematic Review of IoT Solutions for Smart Farming. *Sensors*, vol. 15, pp. 1-29. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/s20154231> (accessed 19 December 2024).
4. Top 10 Applications of IoT in 2022. Retrieved from: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/top-applications-internet-of-things/> (accessed 19 December 2024).
5. IoT in agriculture sustainability: Driving eco-friendly and yield-enhancing farming practices. Retrieved from: <https://www.ignitec.com/insights/iot-in-agriculture-sustainability-driving-eco-friendly-and-yield-enhancing-farming-practices/> (accessed 20 December 2024).
6. Ahmed S. and Kadir R. (2022) Optimization Techniques in IoT-Based Smart Agriculture. *Sensors*, pp. 559-572.
7. Chopra P. and Singh. N. (2020) The Role of IoT and Big Data Analytics in Modern Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, p. 172.
8. Nazarenko N., Zayets S. and Kyrychuk Y. (2024) Spivpracija industrii' 4.0 ta internetu rechej IoT [Cooperation of industry 4.0 and the internet of things IoT]. *Herald of Khmelnytskyi National University*, vol. 5, no. 341, pp. 74-79. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-341-5-10>
9. Dhanaraju M. (ed.) (2022) Formal Models for Resource Management in Agriculture using IoT. *Agriculture*, vol. 12, pp. 1-26. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
10. Garcia R. (ed.) (2023) Data Filtering and Integration in IoT Systems: A Set-Theoretic Perspective. *IoT Journal*, pp. 112-124.
11. Ziuziun V. I. (2016) Systemna model' upravlinnja ekologichnymy ryzykamy v projektah [System model of environmental risk management in projects]. *Bulletin of the National Transport University*, vol. 2, pp. 84-92.
12. V. I. Ziuziun (2017) *Metody ta modeli upravlinnja ekologichnymy ryzykamy v projektah rozvytku transportu* [Methods and models of environmental risk management in transport development projects] (Theses Candidate of Technical Sciences), Kyiv: National Transport University.

УДК 004.056.5:004.421:004.3:681.5
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.5>

ВРАЗЛИВОСТІ ІГРОВИХ АНТИЧИТІВ: АНАЛІЗ БЕЗКОНТАКТНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІГРОВИХ ДІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗОВНІШНІХ ПРИСТРОЇВ

Клепцов А. А. – магістр інженерії програмного забезпечення,
головний інженер програміст, 28Software
ORCID ID: 0009-0008-3147-0618

Гусєва-Божаткіна В. А. – старший викладач кафедри програмного забезпечення
автоматизованих систем Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова
ORCID ID: 0000-0002-1117-3391

В 21 сторіччі ігри стали невід'ємною частиною нашого суспільства[1]. Якщо раніше вони сприймалися як щось екзотичне, то зараз важко знайти людину, яка б жодного разу не грала у комп'ютерні або мобільні ігри. Більше того, у деяких людей комп'ютерні ігри стають альтернативним способом дозвілля, або навіть хобі. Зараз ігри сприймаються так само нормально, як фільми, серіали або книги. Тобто це вже стало буденністю. Поріг входження став настільки маленький у деяких продуктів, що навіть старше покоління все частіше розглядає ігри як щось нормальне. До прикладу цільова аудиторія Candy Crush Saga[2] – це жінки 35+. Часто можна побачити якусь бабусю у метро чи в автобусі, яка грає в match 3, word games або щось подібне.

Проблема використання програмного забезпечення, яке дозволяє отримати перевагу у грі (в майбутньому чити), є дуже актуальною. Великі компанії можуть випускати гарні ігри, мати високий рейтинг, але стрімко втрачати його, користувачів та прибутки, через збільшення кількості нечесних гравців. При тому, що розробники намагаються виправляти вразливості та покращувати захист, чити також не стоять на місці і проблема за часту не вирішується.

У даній роботі буде розглянута можливість автоматизації ігрових процесів, за допомогою зовнішніх пристроїв, які зазвичай ігноруються програмами античитами, та як можна запобігти цьому з перспективи розробників. В статті будуть описані самі популярні рішення захисту ігор від стороннього втручання, їх переваги та недоліки. Окрім цього, дослідимо вже існуючі рішення, які є загальнодоступними, та ставлення розробників ігор до таких девайсів.

Під час дослідження та розробки, будуть використані: мова програмування C#, платформа Arduino Pro Micro, зовнішня HDMI capture card, розгалужувач HDMI сигналу та платформа Raspberry Pi 5.

Ключові слова: античит, автоматизація, ігри, C#, HDMI, Arduino, Raspberry.

Klieptsov A. A., Guseva-Bozhatkina V. A. Weaknesses of gaming anti-cheat systems: an analysis of contactless automation of gameplay using external devices

In the 21st century, games have become an integral part of our society [1]. While they were once perceived as something exotic, it is now difficult to find someone who has never played computer or mobile games. Moreover, for some people, video games have become an alternative form of leisure or even a hobby. Today, games are viewed as just as ordinary as movies, TV series, or books, making them part of everyday life. The barrier to entry for some products has become so low that even older generations are increasingly considering games as a normal activity. For example, the target audience of Candy Crush Saga [2] consists of women aged 35 and older. It's not uncommon to see an elderly woman on the subway or bus playing match-3 games, word games, or something similar.

The issue of using software that provides an unfair advantage in games (referred to as cheats hereafter) is highly relevant. Large companies can release great games with high ratings but quickly lose their reputation, users, and revenue due to an increase in dishonest players. Even though developers strive to fix vulnerabilities and improve protection, cheats continue to evolve, leaving the problem unresolved in most cases.

This paper explores the possibility of automating gameplay using external idle systems, which are often overlooked by anti-cheat programs, and discusses how developers can address this issue. The study will outline the most popular solutions for protecting games from third-party interference, along with their advantages and disadvantages. Additionally, we will examine existing solutions that are publicly available and analyze developers' attitudes toward such devices.

During the research and development process, the following tools will be used: the C# programming language, Arduino Pro Micro platform, external HDMI capture card, HDMI splitter, and Raspberry Pi 5 platform.

Key words: anti-cheat, automation, games, C#, HDMI, Arduino, Raspberry.

Постановка проблеми. Що таке античит? Це автоматична система, що створена для виявлення читів, встановлених на користувацьких комп'ютерах [3]. Простими словами, це вбудована, або окремо встановлена програма, яка запускається разом з грою, та націлена на те, щоб визначати нечесних гравців, які використовують інші сторонні програми для отримання переваг у грі.

Як часто гравці намагаються оманювати ігри? У сфері ігор 57% опитаних зізналися, що використовували чити в однокористувацьких або багатокористувацьких іграх. Більша частка припадає на чити для однокористувацьких ігор, які становлять 37% від загальної кількості [4]. Статистика вже вражаюча. Якщо розмовляти про конкретні античитити, то одним з самих популярних є Easy Anti-Cheat [5]. Ця античит-система, розроблена для захисту багатокористувацьких ігор від читерів. Вона була створена компанією **Kamu** (Фінляндія), а у 2018 році її придбала **Epic Games**. Цю систему використовують такі відомі тайтли як Fortnite, Apex Legends, Rust і багато інших. Наприклад у *Apex Legends* було заблоковано понад **1 мільйон акаунтів** за читерство. Що є величезною цифрою. Більше того, якщо дослідити публікації від гравців в інтернеті, то можна прослідкувати тенденцію зростання кількості скарг на нечесну гру. З цього можна зробити висновок, що розробники читів вдосконалюють свої продукти. В свою чергу, розробники античитів не встигають вживати контр заходів. Який наслідок такої тенденції? На прикладі того самого Easy Anti-Cheat, та Apex Legends. Проблема нечесної гри там стала настільки гострою, що рейтинг гри за останні роки стрімко знизився [6]. В той же самий час, кількість гравців також стрімко падає [7].

Аналіз досліджень і публікацій. Існує дуже багато науковців та дослідників, які цікавляться проблемою читів та античитів. Як приклад, у статті «Cheating in Online Games: A Social Network Perspective» [8] авторів Джеремі Блекберн (Jeremy Blackburn), Ніколас Кортеліс (Nicolas Kourtellis), Джон Скворец (John Skvoretz), Матей Ріпеану (Matei Ripeanu), Адріана Ямнітчі (Adriana Iamnitchi), досліджується проблема читерства в онлайн-іграх з точки зору соціальних мереж. Автори намагаються зрозуміти, як читерам вдається інтегруватися в ігрові спільноти. Основна увага приділяється взаємодіям між гравцями, а також способом, якими читери намагаються уникати виявлення.

Також у статті «NGUARD: A Game Bot Detection Framework for NetEase MMORPGs» [9] авторів Лінся Гун (Linxia Gong), Чжунвень Цзя (Zhongwen Jia), Сяо Лі (Xiao Li), Чжао Лі (Zhao Li), Хунань Фан (Hunan Fang), Лей Чень (Lei Chen) описується система **NGUARD**, яка є фреймворком для виявлення ботів у багатокористувацьких онлайн-іграх. NGUARD використовує методи машинного навчання для аналізу ігрової поведінки та виявлення ботів, забезпечуючи захист від автоматизованих дій, що шкодять ігровому досвіду.

Мета статті. Завданням роботи – є спроба створення апаратно програмного забезпечення, яке дозволить автоматизувати примітивні дії у багатокористувацькій

грі з використанням вразливості античит системи, а також опису методів, як можна виявляти гравців, які користуються такими вразливостями.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо самий банальний метод автоматизації процесу. Без прив'язки до конкретної багатокористувацької гри, або античита. Уявімо, що нам треба забирати якусь нагороду, кожні 2 хвилини. Нагорода забирається шляхом наведення курсора на кнопку, натисканням лівої кнопки миші, та скажімо, клавіши Enter для підтвердження вибору.

Для такої банальної задачі можна використати програму AutoIt [10]. З її допомогою можна емулювати рухи миші, натискання кнопок і так далі. Проблема в тому, що більшість античитів з легкістю визначають, що у вас запущена дана програма. Як результат, античит, або вимкне вам гру, або взагалі заблокує вам акаунт.

Якщо створити свою програму, наприклад на мові C#, шанси не бути поміченим стають більшими. Ось тут я надав банальний приклад, як можна автоматизувати цей процес на мові C# (код не повний і тільки для ознайомлення) [11].

А що, якщо античит може визначити і таку поведінку? Звичайно, коли курсор рухається дуже швидко, то це може виглядати підозріло. Можна зробити поведінку більш натуральною, за допомогою рандомних рухів, не прямих переміщень, а також затримок. Але можна піти далі.

Наступна ітерація – використання Arduino Pro Micro.



Рис. 1. плата Arduino Pro Micro

Цей мікроконтролер може поводити себе як пристрій HID (Human Interface Device), наприклад, клавіатура або миш. Відповідно, за допомогою тієї самої програми на C#, ми можемо передавати інформацію по Serial порту до Arduino, а Arduino Pro Micro буде виконувати натискання або переміщення. З таким підходом, більшість античитів вже не будуть вважати цю поведінку підозрілою, бо з їх перспективи, користувацький ввід робиться людиною.

Щоб ускладнити задачу, і додати умову зчитування інформації з екрану, нам може знадобитись GetPixel [12]. Вона дозволяє зчитати колір пікселя в конкретних координатах з об'єкта Bitmap (можна зробити скріншот екрану). Повертаючись до першочергової задачі, нам треба забирати нагороду кожні 2 хвилини. Але якщо таймер не фіксований? В такому випадку нам треба опиратись на якийсь візуал. Можна зчитувати колір пікселя на кнопці і тільки тоді виконувати дію. Тобто припустимо, що кнопка не активна і має сірий колір, а коли зелена, то вона активна і можна забрати нагороду. Метод дійсно працюючий, але робити скріншоти кожну 1 секунду також підозріло для програм античитів. Тому наступною ітерацією буде використання Raspberry Pi 5. За допомогою цього одноплатного комп'ютера можна реалізовувати більш складні задачі.



Рис. 2. плата Raspberry Pi 5

Якщо підключити монітор гри через HDMI розгалужувач, інший кінець кабелю через HDMI capture card до Raspberry, ми цілком безпечно можемо аналізувати зображення у ізолюваному середовищі. Враховуючи те, що Raspberry також може виступати в ролі HID, нам навіть не потрібна прокладка на ПК в ролі C# програми. Бо всі дії будуть відбуватись всередині Raspberry, абсолютно незалежно, базуючись на зображенні. Програма на C# (або іншій мові) все одно треба, але вона буде запущена саме всередині Raspberry.

Як боротися з подібними девайсами? Не так давно компанія Activision-Blizzard забанила дуже багато геймерів у грі Call of Duty: Warzone, за використання девайсу Collective Minds Cronus Zen [13; 14].



Рис. 3. девайс Collective Minds Cronus Zen підключений до Xbox

Цей девайс дозволяв знизити або взагалі прибрати віддачу при стильбі і грі. Зазвичай у іграх є вертикальна і горизонтальна віддача, яку гравцю треба контролювати (рухати мишку або стік в протилежну сторону, щоб попадати в ціль), цей девайс робив це автоматично.

Враховуючи вищесказане, деякі античитити, все ж можуть виявляти сторонні девайси. Поки що, вони ніяк не реагують на Arduino та Raspberry. І скоріш за все, користувачі, в яких вони підключені до ПК, будуть і надалі в безпеці. Бо по суті, це просто плати для розробки, вони не обов'язково можуть робити щось погане. Тому розробникам античитів слід подумати над більш розвинутими механізмами захисту. Хорошим варіантом буде просто перевіряти підключені девайси. Наприклад перевірка USB Vendor ID (VID) та Product ID (PID). Тобто порівняння ідентифікаторів VID та PID пристроїв. Arduino або Raspberry Pi, налаштовані як HID-пристрій, часто використовують нестандартні або відомі ідентифікатори.

Можна створити список дозволених VID/PID і відхиляйте пристрої, які не відповідають цьому списку. Або виявлення нестандартних або відсутніх драйверів. Arduino або Raspberry Pi можуть використовувати загальні драйвери USB HID, що відрізняються від драйверів для сертифікованих пристроїв.

Висновки. У цьому дослідженні, була проведена робота з емуляції дій користувача за допомогою програми на C#, платформ Arduino та Raspberry. Наведено пояснення, чому ці методи можуть безпечно працювати наразі і які дії розробники ігор та античитів можуть прийняти, щоб убезпечити свої ігри від шахрайства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Горбань, О. В., Мартич, Р. В., Малецька, М. О. Феномен відеоігрової культури в сучасному суспільстві. *Studia Warمیskie*, 2019, № 56, с. 123–135. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/31142/>.
2. Candy Crush Usage and Statistics. *Helplama*. URL: <https://helplama.com/candy-crush-usage-and-statistics/>.
3. Anti-cheat software. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Anti-cheat_software.
4. YouGov and PLITCH Study Shows that Over Half of Americans Use Cheats While Gaming. *UberStrategist*. URL: <https://uberstrategist.com/press-release/yougov-and-plitch-study/>.
5. Easy Anti-Cheat. *Easy Anti-Cheat*. URL: <https://www.easy.ac/en-US/>.
6. Apex Legends Receives Mixed Reviews on Steam. *Game Rant*. URL: <https://gamerant.com/apex-legends-steam-reviews-mixed/>.
7. Apex Legends Hits Lowest Player Count in Years as Season 22 Disappoints. *Dexerto*. URL: <https://www.dexerto.com/apex-legends/apex-legends-hits-lowest-player-count-in-years-as-season-22-disappoints-2954901/>.
8. Blackburn, J., Kourtellis, N., Skvoretz, J., Ripeanu, M., Iamnitchi, A. Cheating in Online Games: A Social Network Perspective. *University of British Columbia*. URL: <https://people.ece.ubc.ca/matei/papers/toit-final.pdf>.
9. Tao, J., Xu, J., Gong, L., Li, Y., Fan, C., Zhao, Z. NGUARD: A Game Bot Detection Framework for NetEase MMORPGs. *NetEase Fuxi AI Lab, Zhejiang University*. URL: https://linxiagong.github.io/misc/myPapers/KDD2018_NGUARD.pdf.
10. AutoIt Script. *AutoIt*. URL: <https://www.autoitscript.com/site/>.
11. AutoClicker: Perform Action Every Two Minutes. *GitHub*. URL: <https://github.com/MrIcros/Clicker/blob/main/PerformActionEveryTwoMinutes>.
12. Метод Bitmap.GetPixel. *Microsoft Learn*. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.drawing.bitmap.getpixel?view=net-8.0>.
13. Cronus Zen. *Cronus Shop*. URL: <https://cronus.shop/collections/cronus-zen>.
14. Players complain for being banned for no reason, I call it BS they are using the Cronus Zen Device. *Steam Community*. URL: <https://steamcommunity.com/app/1938090/discussions/0/5230393378279357245/?l=ukrainian>.

REFERENCES:

1. Horban, O. V., Martych, R. V., Maletska, M. O. (2019) Phenomenon of Videogame Culture in Modern Society. *Studia Warمیskie*, No. 56, pp. 123–135. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/31142/>.
2. Candy Crush Usage and Statistics. *Helplama*. URL: <https://helplama.com/candy-crush-usage-and-statistics/>.
3. Anti-cheat software. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Anti-cheat_software.
4. YouGov and PLITCH Study Shows that Over Half of Americans Use Cheats While Gaming. *UberStrategist*. URL: <https://uberstrategist.com/press-release/yougov-and-plitch-study/>.

5. Easy Anti-Cheat. *Easy Anti-Cheat*. URL: <https://www.easy.ac/en-US/>.
 6. Apex Legends Receives Mixed Reviews on Steam. *Game Rant*. URL: <https://gamerant.com/apex-legends-steam-reviews-mixed/>.
 7. Apex Legends Hits Lowest Player Count in Years as Season 22 Disappoints. *Dexerto*. URL: <https://www.dexerto.com/apex-legends/apex-legends-hits-lowest-player-count-in-years-as-season-22-disappoints-2954901/>.
 8. Blackburn, J., Kourtellis, N., Skvoretz, J., Ripeanu, M., Iamnitchi, A. Cheating in Online Games: A Social Network Perspective. *University of British Columbia*. URL: <https://people.ece.ubc.ca/matei/papers/toit-final.pdf>.
 9. Tao, J., Xu, J., Gong, L., Li, Y., Fan, C., Zhao, Z. NGUARD: A Game Bot Detection Framework for NetEase MMORPGs. *NetEase Fuxi AI Lab, Zhejiang University*. URL: https://linxiagong.github.io/misc/myPapers/KDD2018_NGUARD.pdf.
 10. AutoIt Script. *AutoIt*. URL: <https://www.autoitscript.com/site/>.
 11. AutoClicker: Perform Action Every Two Minutes. *GitHub*. URL: <https://github.com/MrIcrosI/AutoClicker/blob/main/PerformActionEveryTwoMinutes>.
 12. Bitmap.GetPixel Method. *Microsoft Learn*. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.drawing.bitmap.getpixel?view=net-8.0>.
 13. Cronus Zen. *Cronus Shop*. URL: <https://cronus.shop/collections/cronus-zen>.
 14. Players complain for being banned for no reason, I call it BS they are using the Cronus Zen Device. *Steam Community*. URL: <https://steamcommunity.com/app/1938090/discussions/0/5230393378279357245/?l=ukrainian>.
-

УДК 004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.6>

АНСАМБЛЕВЕ НАВЧАННЯ КЛАСИФІКАТОРІВ ДЛЯ ОНЛАЙН ВИЯВЛЕННЯ ДЕЗІНФОРМАЦІЇ

Лендюк Д. Т. – аспірант кафедри інформаційно-обчислювальних систем
і управління Західноукраїнського національного університету
ORCID ID: 0009-0004-2728-7889
Scopus-Author ID: 57208671953

Ліп'яніна-Гончаренко Х. В. – доцент кафедри інформаційно-обчислювальних
систем і управління Західноукраїнського національного університету
ORCID ID: 0000-0002-2441-6292
Scopus-Author ID: 59250857600

У сучасному цифровому світі, де інформація розповсюджується з неймовірною швидкістю, виявлення фейкових новин та дезінформації стає критично важливим завданням. В контексті українськомовного інформаційного простору, це завдання набуває додаткової актуальності через гібридну війну з росією. Відповідно до цього, в нашому дослідженні було розроблено та впроваджено метод "Online Learning with Sliding Windows for Text Classifier Ensembles" (OLTW-TEC), спрямований на ефективне виявлення дезінформації в українськомовних текстових даних. Метою є підвищення точності та адаптивності в ідентифікації фейкових новин, зокрема в українськомовному інформаційному просторі. Ця робота акцентує увагу на необхідності забезпечення швидкої та адаптованої до змін системи у відповідь на стрімкі зміни в інформаційному потоці. Метод OLTW-TEC використовує передові техніки машинного навчання та аналізу даних для створення адаптивної системи класифікації, яка може динамічно реагувати на зміни в інформаційному потоці. Центральним елементом методу є інтеграція ансамблю класифікаторів з методом ковзних вікон, що дає можливість постійно оновлювати модель на основі останніх даних, забезпечуючи високу точність і адаптивність до нових форм дезінформації. Метод включає етапи збору та попередньої обробки даних, аналізу тональності, емоцій та векторизації тексту, що дає змогу глибше аналізувати та ефективніше виявляти фейкові новини, спираючись на унікальні лінгвістичні та культурні особливості української мови. Для аналізу ефективності OLTW-TEC було використано унікальний датасет українськомовних новин, що включає як достовірні, так і неправдиві новини. Результати дослідження продемонстрували високу ефективність методу ідентифікації дезінформації, з точністю класифікації, що сягає 93,26%. Аналіз матриці помилок та інших метрик, таких як оцінка F1, підкреслив збалансованість та надійність OLTW-TEC у виявленні фейкових новин. У порівнянні з традиційними методами класифікації, OLTW-TEC не лише показує кращі результати за більшістю метрик, але й забезпечує простір для адаптації до змін у характері даних. Вибір розміру "ковзного вікна" та можливість його регулювання залежно від специфіки даних надає методу додаткову гнучкість і точність.

Ключові слова: дезінформація, фейкові новини, онлайн навчання, ансамблі класифікаторів.

Lendiuk D. T., Lipianina-Honcharenko Kh. V. Online learning with sliding windows for text classifier ensembles

In today's digital world, where information spreads at an incredible speed, detecting fake news and disinformation is becoming a critically important task. In the context of the Ukrainian-language information space, this task becomes even more relevant due to the hybrid war with Russia. Accordingly, in our study, the "Online Learning with Sliding Windows for Text Classifier Ensembles" (OLTW-TEC) method was developed and implemented, aimed at effectively detecting disinformation in Ukrainian-language text data. The goal is to increase the accuracy and adaptability in identifying fake news, particularly in the Ukrainian-language information space. This work focuses on the need to provide a fast and adaptable system in response to rapid changes in the information flow. The OLTW-TEC method uses advanced machine learning and data analysis techniques to create an adaptive classification system that can dynamically respond

to changes in the information flow. The central element of the method is the integration of an ensemble of classifiers with the sliding window method, which makes it possible to constantly update the model based on the latest data, ensuring high accuracy and adaptability to new forms of disinformation. The method includes the stages of data collection and pre-processing, analysis of tonality, emotions and text vectorization, which allows for deeper analysis and more effective detection of fake news, relying on the unique linguistic and cultural features of the Ukrainian language. To analyze the effectiveness of OLTW-TEC, a unique dataset of Ukrainian-language news was used, which includes both reliable and false news. The results of the study demonstrated the high effectiveness of the method for identifying disinformation, with a classification accuracy of 93.26%. Analysis of the error matrix and other metrics, such as the F1 score, highlighted the balance and reliability of OLTW-TEC in detecting fake news. Compared to traditional classification methods, OLTW-TEC not only shows better results on most metrics, but also provides room for adaptation to changes in the nature of the data. The choice of the "sliding window" size and the ability to adjust it depending on the specifics of the data gives the method additional flexibility and accuracy.

Key words: disinformation, fake news, online learning, ensembles of classifiers.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У період російсько-української війни, значення виявлення фейкових новин набуває особливої актуальності, оскільки дезінформація може мати серйозні наслідки. Дослідження [1] та [2] підкреслюють, як соціальні медіа, зокрема Twitter та Weibo, відіграють ключову роль у формуванні громадської думки під час конфлікту. Аналіз показує, що на початку війни спостерігався значний сплеск активності, який згодом знизився, але продовжував залучати увагу до України як жертви агресії. Важливість розрізнення між реальними та фейковими новинами стає ще більш важливою, враховуючи, що соціальні медіа часто використовуються як основне джерело інформації. Таким чином, зростає потреба у розробці ефективних методів виявлення та аналізу фейкових новин, щоб забезпечити достовірність інформації, і безпеці. В цьому контексті, розробка ефективних методів для виявлення дезінформації є критично важливою. Дане дослідження пропонує інноваційний підхід, який використовує переваги ансамблів класифікаторів у поєднанні з методами онлайн навчання. Цей підхід дає змогу не тільки точно ідентифікувати фейкові новини, але й адаптуватися до постійно змінюваного інформаційного середовища, забезпечуючи актуальність та ефективність виявлення дезінформації в реальному часі.

В цьому дослідженні представлена розробка та аналіз новаторського методу Online Learning with Sliding Windows for Text Classifier Ensembles (OLTW-TEC), що об'єднує переваги адаптивного онлайн навчання з динамічним ковзним вікном для ансамблів класифікаторів тексту. Метою є підвищення точності та адаптивності в ідентифікації фейкових новин, зокрема в українськомовному інформаційному просторі. Ця робота акцентує увагу на важливості розробки інструментів, здатних адекватно працювати з унікальними лінгвістичними та культурними особливостями конкретних мовних груп, а також на необхідності забезпечення швидкої та адаптованої до змін системи у відповідь на стрімкі зміни в інформаційному потоці.

Аналіз досліджень та публікацій. Автори роботи [3] досліджують зв'язок між фейковими новинами та інноваціями, орієнтованими на сталість, вказуючи на необхідність розробки цілісної концептуальної рамки для розуміння цього взаємозв'язку. Автори визначають ключові теоретичні та практичні наслідки, а також пропонують напрямки майбутніх досліджень у цій галузі.

У дослідженнях [4] та [5] проводять оглядові дослідження, аналізуючи різні підходи до виявлення фейкових новин. У [4] зосереджуються на викликах, пов'язаних з наборами даних, представленням ознак та інтеграцією даних, тоді як в [5]

розглядають атрибути, особливості та методи виявлення фейкових новин у соціальних мережах, включаючи лінгвістичний та семантичний аналіз.

У дослідженнях [6] та [7] увага акцентується на використанні глибокого навчання та графових нейронних мереж для виявлення фейкових новин. Ну та співавтори розглядають різні підходи глибокого навчання, включаючи кероване, слабоекероване та некероване навчання, та аналізують їх ефективність на основі різних наборів даних. Phan та співавтори зосереджуються на використанні графових нейронних мереж, вказуючи на їх потенціал та виклики, пов'язані зі стандартизацією даних та розробкою спеціалізованого апаратного забезпечення.

Дослідження [8] висвітлює важливість багатоконтекстуального навчання у дослідженні дезінформації, враховуючи різні контексти, такі як зміст, емоції, користувачі та інші. Автори пропонують всебічний погляд на цю проблему, включаючи виклики, пов'язані з багатомодальністю контенту та недостатністю мічених даних. Автори [9] також підкреслюють необхідність інтердисциплінарного підходу, включаючи аналіз мереж та мови, для розуміння динаміки поширення фейкових новин та їх впливу.

У роботі [10] досліджується, як люди висловлюють свої почуття на Twitter під час конфлікту між Росією та Україною. Дослідження має дві цілі: збір унікальних даних та використання машинного навчання (ML) для класифікації твітів залежно від їх впливу на почуття людей. Перша ціль полягала у виявленні найбільш релевантних хештегів, пов'язаних з конфліктом, для знаходження датасету. Друга ціль – використання декількох відомих моделей ML для групування твітів. Експериментальні результати показали, що більшість класифікаторів ML мають вищу точність на збалансованому наборі даних. Однак результати експериментів з використанням стратегій балансування даних не обов'язково вказують на те, що всі класи будуть працювати краще. Тому важливо підкреслити важливість порівняння та контрастування стратегій балансування даних, використаних у дослідженнях SA та ML, включаючи більше класифікаторів та ширший спектр випадків використання.

У роботі [11] автори розробили новий метод виявлення фейкових новин, який враховує контекстуальну семантичну репрезентацію для аналізу багатомодальних даних у соціальних мережах. Цей метод, названий CSFND (Contextual Semantic representation learning for multimodal Fake News Detection), включає некерований етап навчання контексту для отримання локальних контекстуальних ознак новин, які потім поєднуються з глобальними семантичними ознаками для навчання контекстуальної семантичної репрезентації новин. Експерименти на двох реальних багатомодальних наборах даних показали, що CSFND значно перевершує десять сучасних методів виявлення фейкових новин, покращуючи середню точність на 2,5% порівняно з найкращими базовими методами.

У дослідженні [12] автори розробили нову модель для виявлення фейкових новин на соціальних мережах, засновану на квантовому багатомодальному злитті (QMFND). Модель QMFND інтегрує вилучені зображення та текстові ознаки, які проходять через запропоновану квантову згорткову нейронну мережу (QCNN), щоб отримати дискримінативні результати. Перевірка QMFND на двох наборах даних соціальних медіа, Gossip та Politifact, показала, що її продуктивність дорівнює або навіть перевищує продуктивність класичних моделей. Крім того, було досліджено вплив різних параметрів. QCNN виявилася не тільки високовиразною та здатною до заплутування, але й стійкою до квантового шуму.

У роботі [13] розглядається проблема виявлення фейкових новин на соціальних мережах. Автори пропонують новий підхід, який враховує схожість думок

користувачів, аналізуючи їхні позиції щодо новинних статей та взаємодії в постах. Використовуючи мережу графових трансформерів, метод одночасно вилучає глобальну структурну інформацію та взаємодії схожих позицій. Метод був оцінений на спеціально зібраних даних з Twitter та на датасеті FibVID, демонструючи значне покращення у порівнянні з традиційними методами, включаючи найсучасніші методи.

У дослідженні [14] розглядається проблема виявлення фейкових новин у мультимодальних даних. Автори вказують на виклики, пов'язані у спільному аналізі внутрішньомодальних та міжмодальних кореляцій між зображеннями та текстами, а також на необхідність більш глибокого аналізу ієрархічної семантики тексту. Для вирішення цих проблем пропонується мультимодальна мережа з урахуванням взаємозв'язків (MRAN) [[Multi-scale Residual Attention Network (MRAN) – Мультимасштабна мережа залишкової уваги (MRAN)]], яка включає в себе кілька етапів обробки. Спочатку використовується багаторівнева мережа кодування для вилучення семантичних особливостей тексту, а також VGG19 для вилучення візуальних характеристик. Потім використовується мережа залишкової уваги, яка обчислює схожість між сегментами інформації в межах модальностей та між модальностями. Нарешті, отримані характеристики передаються в детектор фейкових новин. Експерименти на трьох датасетах показали ефективність MRAN, підкреслюючи його сильну продуктивність у виявленні фейкових новин.

Робота [15] пропонує гібридний підхід, який поєднує слабоекероване навчання та глибоке навчання для виявлення фейкових новин у соціальних мережах. Дослідження зосереджується на використанні методів машинного навчання, таких як SVM, для анотації великих обсягів нерозмічених даних, а також на застосуванні глибоких навчальних технік, таких як Bi-LSTM та Bi-GRU, для класифікації фейкових новин. Автори використовують TF-IDF та Count Vectorizer для вилучення ознак з текстових даних. Експериментальні результати показують, що запропонований підхід досягає високої точності у виявленні фейкових новин, що робить його ефективним інструментом у боротьбі з дезінформацією в інтернеті.

Дослідження [16] вводить концепцію «воротарів» у соціальних мережах для виявлення фейкових новин. Воротарі – це активні користувачі, які беруть участь у поширенні новин. Дослідження пропонує модель поведінки воротарів на основі рекурентної нейронної мережі (RNN), що включає навчання моделі та виявлення фейкових новин. Метод здатний виявляти фейкові новини в реальному часі, використовуючи дані з Twitter та Weibo. Експериментальні результати показують, що одиниця повторюваного воротаря (GRU) досягає найкращого загального результату. Запропонований метод перевершує декілька сучасних підходів, демонструючи ефективність у ранніх та середніх стадіях поширення новин.

У роботі [17] розглядається задача автоматизації виявлення фейкових новин та перевірки фактів для західнослов'янських мов, зокрема для чеської, польської та словацької. Автори представляють набори даних для цих мов та проводять початкові експерименти, які встановлюють базовий рівень для подальших досліджень у цій галузі. Вони використовують 10-кратну крос-валідацію для оцінки як збалансованих, так і незбалансованих наборів даних, а також проводять бінарні експерименти лише з класами «ПРАВДА» та «НЕПРАВДА». В якості вхідних даних для класифікатора використовуються текст твердження або текст твердження, доповнений текстом обґрунтування.

У дослідженні [18] досліджується ефективність використання методу зворотного перекладу (Back Translation, BT) з використанням трансформерних моделей для покращення виявлення фейкових новин румунською мовою. Дослідження

базується на даних з Factual.ro, де моделі з ВТ показали кращі результати за точністю, прецизійністю, відгуком, оцінкою F1 та AUC порівняно з моделями, навченими на оригінальному наборі даних. Використання mBART для ВТ з французькою як цільовою мовою покращило продуктивність моделі порівняно з Google Translate. Найкраще серед тестованих моделей показали себе Класифікатор Екстра Дерев та Класифікатор Випадкових Лісів. Результати свідчать про потенціал використання ВТ з трансформерними моделями, такими як mBART, для підвищення ефективності виявлення фейкових новин.

У роботі [19] досліджується проблема визначення достовірності інформації, особливо в контексті соціальних заворушень та важливих подій, таких як вибори президента США та вторгнення Росії в Україну. Автори розглядають ефективність використання нейронних мереж для виявлення фейкових новин. Для підвищення точності класифікації було створено алгоритм попередньої обробки даних на основі основних принципів обробки природної мови. В результаті дослідження були виявлені мовні шаблони фейкових новин, які стали основою для попередньої обробки даних. Описано особливості конволюційних та рекурентних нейронних мереж та їх модифікації для аналізу текстових даних. Для порівняння певних моделей було обрано набір показників, що характеризують ефективність алгоритмів. Точність класифікації цих моделей була перевірена на даних, пов'язаних з виборами президента США та масштабним вторгненням російської федерації на територію України.

На основі аналізу сучасних досліджень у галузі виявлення дезінформації, можна зробити висновок, що існуючі підходи значною мірою концентруються на англійській та китайській мовах, і не надають достатнього рівня уваги українській мові. Це вказує на відсутність спеціалізованих наборів даних та моделей, які були б адаптовані до особливостей української мови. У зв'язку з цим, розроблено підхід "Online Learning with Sliding Windows for Text Classifier Ensembles" (OLTW-TEC), який спрямований на створення комплексного методу для виявлення дезінформації в українськомовному контенті. Метод включає етапи збору та попередньої обробки даних, аналізу тональності, емоцій та векторизації тексту, що дає змогу глибше аналізувати та ефективніше виявляти фейкові новини, спираючись на унікальні лінгвістичні та культурні особливості української мови.

Метою роботи є підвищення точності та адаптивності в ідентифікації фейкових новин, зокрема в українськомовному інформаційному просторі.

Для досягнення мети необхідно виконати такі задачі:

- Проаналізувати існуючий стан справ у визначенні фейкової інформації;
- Оцінити ефективність методу OLTW-TEC;
- Проаналізувати надійність OLTW-TEC як інструменту для фільтрації інформації за допомогою матриці помилок;
- Експериментально вибрати розмір «ковзного вікна», щоб надати методу додаткову гнучкість і точність.

Виклад основного матеріалу. Представимо вдосконалення ансамблю [20] адаптивних предикторів багатовимірних нестационарних послідовностей та його онлайн навчання, спрямоване на підвищення ефективності в контексті класифікації тексту. Це досягається шляхом інтеграції передових методів обробки природної мови та адаптивних алгоритмів навчання. Зокрема, використовуються векторні характеристики текстових документів, які оптимально обрані для відповідної задачі, які служать входними даними для ансамблю моделей класифікації. Оптимізація ваг цих моделей в ансамблі виконується за допомогою алгоритму

Adam. Важливим аспектом вдосконалення є впровадження методу "ковзного вікна", який забезпечує адаптивність предикторів до змін у даних. Такий підхід дає змогу забезпечити високу точність та адаптивність моделей у динамічних умовах онлайн навчання.

Введемо у розгляд ансамбль моделей для класифікації тексту $MP_1, \dots, MP_j, \dots, MP_h$, кожна з яких обробляє векторні характеристики текстового документу, отримані за допомогою моделі векторизації. Ці характеристики представляються як $x(\tau) = (x_1(\tau), \dots, x_j(\tau))^T$ для $\tau = 1, 2, \dots, T$. Оцінка, що з'являється на виході кожного з членів ансамблю, буде позначатися як $\hat{x}_j(\tau)$ для $j = 1, 2, \dots, h$, де кожна $\hat{x}_j(\tau)$ відображає оцінку класу для відповідного документу. У якості членів ансамблю можуть використовуватися як традиційні моделі класифікації тексту, такі як логістична регресія або SVM, так і складніші нейронні мережі, включаючи рекурентні мережі та глибокі навчальні структури на кшталт LSTM або трансформерів.

Оцінки $\hat{x}_j(\tau)$ від кожної моделі ансамблю надходять на вхід метамоделі, яка формує об'єднаний прогноз класифікації тексту. Прогноз метамоделі представляється у вигляді

$$x^*(\tau) = \sum_{j=1}^h c_j \hat{x}_j(\tau) = \hat{x}(\tau)c,$$

де $(c_1, \dots, c_j, \dots, c_h)^T \in$ вектором ваг, що визначає внесок кожної окремої моделі в ансамблі.

Матриця $\hat{x}(\tau) = (\hat{x}_1(\tau), \dots, \hat{x}_j(\tau), \dots, \hat{x}_h(\tau))$ сформована з оцінок класів, які генеруються кожною моделлю. Параметри метамоделі задовольняють умові незміщеності:

$$\sum_{j=1}^h c_j = c^T E_h = 1,$$

де E_h – вектор, утворений одиницями. Ваги c підлаштовуються таким чином, щоб оптимізувати загальну точність класифікації метамоделі.

Для визначення оптимальних параметрів метамоделі (вектор ваг c), застосовується оптимізаційний алгоритм Adam, альтернатива традиційним методам, таким як невизначені множники Лагранжа. Функція втрат $L(c)$, що мінімізується, визначається як сума квадратів різниці між істинними класами і прогнозами метамоделі:

$$L(c) = \sum_{\tau=1}^T \|x(\tau) - \hat{x}(\tau)c\|^2,$$

де $x(\tau)$ представляє істинні мітки класів. Мінімізація функції втрат c за допомогою Adam ефективно налаштовує ваги c , що забезпечує оптимальне об'єднання прогнозів від різних моделей ансамблю для досягнення високої точності класифікації.

У випадку змінних у часі або нестационарних текстових даних, ефективність метамоделі може бути підвищена за допомогою методу "ковзного вікна". Цей метод передбачає оновлення параметрів метамоделі, використовуючи лише останні s спостережень (текстових документів) від $x(T-s+1)$ до $x(T)$. Коли надходить нове спостереження $x(T+1)$, найстаріше спостереження у «вікні» видаляється, і оцінка проводиться на основі даних від $x(T-s+2)$ до $x(T+1)$. Такий підхід дає змогу метамоделі бути більш адаптивною до змін у патернах даних та підвищує її здатність до прогнозування на основі актуальної інформації, особливо в ситуаціях, коли текстові дані відзначаються високою динамічністю або нестационарністю.

Вибір оптимального розміру «ковзного вікна» s є важливим для досягнення найвищої точності класифікації в ансамблі метамodelей. Цей вибір часто

базується на емпіричних міркуваннях, оскільки апіорні знання про природу змін у текстових даних можуть бути обмеженими. У сценаріях, де різні розміри «ковзного вікна» можуть бути оптимальними для різних типів текстових даних, ефективним підходом є створення набору метамodelей, кожна з яких побудована для певного розміру вікна.

Для визначення найкращої метамodelі може бути застосована метамodelь другого рівня, яка оцінює та обирає найбільш ефективну метамodelь на основі її продуктивності на всій навчальній вибірці. Такий підхід дає можливість динамічно адаптуватися до змін у текстових даних та вибирати найкращий метод класифікації залежно від конкретного контексту.

Далі представлено розроблений комплексний метод для виявлення дезінформації, від збору та попередньої обробки даних до аналізу тональності, емоцій та векторизації тексту. Метод включає в себе застосування передових технік машинного навчання та нейронних мереж, забезпечуючи глибокий аналіз текстових даних та ефективне виявлення фейкових новин. На рис. 1 представлено структуру запропонованого методу у вигляді сукупності наступних кроків:

Крок 1. Збір даних (блок 1). Збір даних є критично важливим етапом в процесі розробки методу для виявлення дезінформації. Правильно зібрані та структуровані дані дають можливість ефективно тренувати моделі машинного навчання та проводити аналітику. Розглянемо детальніший опис цього кроку:

1.1. Збір текстових даних.

1.1.1. Визначення джерел. Визначення джерел для збору даних є важливим завданням. Джерела можуть включати новинні портали, соціальні мережі, блоги, форуми та інші платформи, де користувачі можуть публікувати або ділитися інформацією.

1.1.2. Автоматизація збору даних [18]. Розробка скриптів або використання існуючих інструментів для автоматичного збору даних може включати веб-скрапінг, API запити до соціальних мереж тощо.

1.1.3. Фільтрація та валідація. Процес фільтрації та валідації даних для забезпечення їх якості та відповідності вимогам дослідження.

1.2. Збір метаданих.

1.2.1. Інформація про авторів. Збір даних про авторів текстів може включати інформацію про їхні профілі, історію публікацій, кількість підписників та інші соціальні показники, які можуть бути корисними для аналізу.

1.2.2. Інформація про джерела. Збір інформації про джерела текстів, таких як URL, дата публікації, кількість переглядів, лайків, коментарів та інші показники, які можуть бути важливими для аналізу контексту та популярності публікацій.

1.2.3. Структурування метаданих. Організація зібраних метаданих у структуровані бази даних для легкого доступу та аналізу в наступних етапах дослідження.

Крок 2. Попередня обробка даних (блок 2). Попередня обробка даних є фундаментальним етапом у процесі аналізу текстової інформації. Цей крок включає в себе різноманітні техніки та методи, які допомагають підготувати зібрані дані для подальшого аналізу. Ось більш деталізований опис цього кроку [21, 22]:

2.1. Токенізація [23]. Процес розбиття тексту на окремі слова, фрази, символи або інші значущі елементи, які називаються токенами. Це допомагає у подальшому аналізі та обробці тексту.

2.2. Стемінг [24]. Процес видалення суфіксів, префіксів та інфіксів зі слів для повернення їх до їхньої основи. Це полегшує виявлення спільних тем та патернів у тексті.

2.3. Тегування частин мови. Процес визначення частин мови кожного слова у тексті, що може бути корисним для синтаксичного аналізу та визначення семантичних відносин між словами.

2.4. Розпізнавання іменованих сутностей (Named Entity Recognition). Визначення та класифікація іменованих сутностей у тексті, таких як імена осіб, організацій, місцезнаходжень тощо.

Крок 3. Векторизація тексту (блок 3). Векторизація тексту є важливим етапом, який перетворює текстові дані в числовий формат, зручний для аналізу та обробки за допомогою методів машинного навчання [24]. Розглянемо детальніше цей процес:

3.1. Вибір методу векторизації.

3.1.1. Word2Vec [25]. Модель навчає векторні представлення слів у багатовимірному просторі таким чином, що слова, які часто зустрічаються разом, мають близькі векторні представлення.

3.1.2. GloVe. Інший підхід до векторизації слів, який використовує як локальний, так і глобальний статистичний аналіз корпусу тексту для визначення векторних представлень слів.

3.1.3. BERT. Сучасна модель, яка використовує механізм уваги для визначення відносин між словами в тексті і може вчити глибокі контекстні представлення слів.

3.2. Процес векторизації.

3.2.1. Тренування або завантаження моделей. Моделі можна натренувати на даних або використати попередньо натреновані моделі для векторизації тексту.

3.2.2. Перетворення тексту. Застосування вибраної моделі для перетворення кожного слова в тексті в векторні представлення.

3.3. Побудова векторних представлень.

3.3.1. Векторизація слів. Отримання векторних представлень для кожного окремого слова в тексті.

3.3.2. Векторизація текстів. Агрегація векторних представлень слів для отримання векторних представлень цілих текстів. Це можна зробити за допомогою усереднення, сумування або інших методів агрегації.

Крок 4. Аналіз тональності та емоцій (блок 4). Аналіз тональності та емоцій є ключовим для розуміння настрою та відтінків, які містяться у текстових даних. Це може допомогти визначити, чи є текст позитивним, негативним, або нейтральним, а також виявити можливі емоційні відгуки, які можуть бути асоційовані з дезінформацією. Розглянемо більш детальний опис цього кроку:

4.1. Вибір моделей аналізу тональності та емоцій [26].

4.1.2. Готові моделі. Існує багато попередньо натренованих моделей для аналізу тональності та емоцій, таких як VADER, TextBlob, або моделі, засновані на BERT та інших глибоких нейронних мережах.

4.1.3. Кастомізовані моделі. Залежно від конкретного випадку, може бути корисним розробити та натренувати власні моделі на специфічних для задачі даних.

4.2. Аналіз тональності.

4.2.1. Обчислення тональності. Застосування моделей для визначення тональності кожного тексту, що дає змогу визначити, чи є текст позитивним, негативним, або нейтральним.

4.2.2. Інтерпретація результатів. Аналіз результатів для визначення загального настрою даних та ідентифікації можливих аномалій або зразків.

4.3. Аналіз емоцій.

4.3.1. Обчислення емоційного відтінку. Застосування моделей для визначення емоційного відтінку тексту, такого як радість, смуток, гнів, здивування, страх, тощо.

4.3.1. Інтерпретація результатів. Аналіз отриманих емоційних відтінків для визначення, як емоції можуть бути пов'язані з дезінформацією та як їх можна використати для подальшого аналізу.

Крок 5. Навчання методом онлайн навчання з «ковзним вікном» для ансамблів текстових класифікаторів (блок 5). Цей крок фокусується на розробці та навчанні моделі класифікації, яка може виявляти фейкову інформацію на основі аналізу тексту та інших виявлених ознак. Детальний опис цього кроку виглядає наступним чином:

5.1. Створення та навчання ансамблю моделей

5.1.1. Створення ансамблю моделей: Вибір та створення різних моделей класифікації (наприклад, логістична регресія, SVM, LSTM, трансформери).

5.1.2. Навчання моделей: Кожна модель навчається окремо на векторизованих текстових даних.

5.1.3. Формування метамоделі: Використання алгоритму, такого як Adam, для оптимізації ваг моделей у ансамблі, забезпечуючи кращу інтеграцію та вибір прогнозів від кожної моделі.

5.2. Впровадження методу «ковзного вікна» для онлайн-навчання

5.2.1. Імплементация «ковзного вікна»: Встановлення розміру «ковзного вікна» для вибору останніх текстових документів, що будуть використовуватися для постійного оновлення та навчання моделей.

5.2.2. Онлайн-оновлення моделей: Періодичне оновлення моделей ансамблю, використовуючи найсвіжіші дані, що надходять, та відкидаючи застарілі дані, для підтримання актуальності та високої точності прогнозування.

5.2.3. Адаптація до змін у даних: Неперервна адаптація метамоделі до змін у текстових даних, що забезпечує ефективну відповідь на динамічність і нестаціонарність текстових послідовностей.

Крок 6. Адаптація та перенавчання (блок 8). Цей етап має на меті забезпечити систему здатністю адаптуватися до еволюції та зміни форм дезінформації, що гарантує її тривалу ефективність у боротьбі з фейковими новинами [25]. Розглянемо деталі цього кроку:

6.1. Перенавчання системи.

6.1.1. Збір нових даних. Постійний збір нових даних з відкритих джерел для відображення останніх трендів та шаблонів дезінформації.

6.1.2. Оцінка потреби в перенавчанні. Аналіз поточної ефективності системи та визначення, чи виникла потреба в перенавчанні на основі нових даних.

6.1.3. Перенавчання моделі. Застосування процесу навчання моделі з використанням нових даних для адаптації моделі до нових форм дезінформації.

6.2. Оновлення моделей та алгоритмів.

6.2.1. Аналіз нових алгоритмів та технологій. Оцінка та аналіз нових алгоритмів та технологій, які можуть бути використані для покращення ефективності системи.

6.2.2. Оновлення алгоритмів. Внесення змін у алгоритми та методи, що використовуються на основі отриманих відомостей та аналізу результатів.

6.2.3. Тестування та валідація оновлених моделей. Проведення тестування та валідації оновлених моделей для забезпечення їхньої ефективності та надійності.

6.3. Моніторинг та оцінка.

6.3.1. Моніторинг ефективності системи. Постійний моніторинг ефективності системи для виявлення можливих проблем або областей для покращення.

6.3.2. Зворотний зв'язок та адаптація. Збір та аналіз зворотного зв'язку від користувачів та експертів для подальшого покращення та адаптації системи.

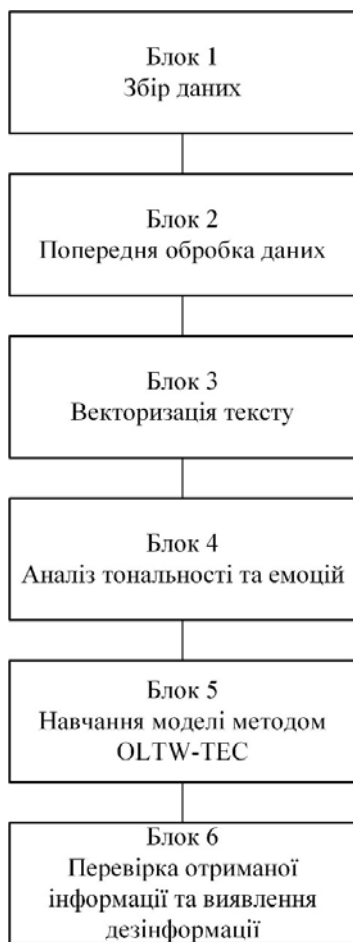


Рис. 1. Структура інтелектуального методу виявлення дезінформації в онлайн режимі

Для реалізації запропонованого методу обрано комбінований набір даних, представлений на Kaggle [27], є унікальною колекцією з більш ніж 60 тис. заголовків новин, зібраних з 24 лютого по 11 грудня 2022 року, що охоплює частину періоду повномасштабної російсько-української війни. Джерелами даних слугували такі телеграм-канали, як «СУСПІЛЬНЕ НОВИНИ», "Perepichka NEWS" та інші.

Він включає в себе як перевірені, так і неправдиві новини, зібрані з українських телеграм-каналів та російських каналів з фейками, роблячи його найбільшим відкритим джерелом відповідних даних. Також на основі цієї колекції новин було відділено всі фейкові та правдиві новини на дві окремі категорії, перемішано, та сформовано новий датасет у пропорції 38% для фейкових новин та 62% для правдивих новин. Загалом, він містить 4522 записів із міткою "False" та 7235 записи із міткою "True".

Для навчання моделі та перевірки її на тестовому наборі даних дану колекцію було перемішано та розділено на пропорції 60% даних для навчання та 40% даних

для тестової вибірки. Процес перемішування та сепарації даних є важливим етапом підготовки даних для задач машинного навчання. Перемішування забезпечує випадковість вибірки, що запобігає можливим впливам порядку даних на тренування моделі. Поділ даних на навчальну та тестову вибірки дозволяє здійснити оцінку узагальнюючої здатності моделі, що є важливою складовою процесу валідації в машинному навчанні. Стратегічний вибір частки даних для тестування та навчання забезпечує ефективну та надійну оцінку результатів моделі, знижуючи ймовірність перетренування (overfitting) та дозволяючи здійснити належний контроль за її здатністю до узагальнення.

У рамках реалізації на початковому етапі проведено підготовку даних, де текстові матеріали були перетворені на числовий формат за допомогою методу векторизації TF-IDF. Далі, на основі цих даних, було треновано кілька індивідуальних моделей, включаючи логістичну регресію, SVM, випадковий ліс, градієнтний бустинг, KNN, дерево рішень, XGBoost та AdaBoost. Кожна модель була адаптована та оптимізована для вирішення задачі класифікації з використанням тренувального набору даних. На другому етапі реалізації було сформовано метамодель на основі XGBoost, яка була тренована з використанням прогнозів, отриманих від індивідуальних моделей через механізм стекінгу. Оцінка точності класифікації була здійснена на тестовому наборі даних, де результати представлені через звіт про класифікацію та матрицю помилок, візуалізовану у вигляді теплової карти. Цей підхід демонструє високий потенціал ансамблевих методів та стекінгу для підвищення ефективності машинного навчання у складних задачах класифікації тексту, зокрема у виявленні дезінформації.

Отримані результати класифікації представлені у форматі звіту (рис. 2), який включає такі показники, як точність (precision), повнота (recall), оцінку F1 (F1-score), та підтримка (support) для двох класів: "False" (фейкові новини) та "True" (правдиві новини).

У процесі оцінки ефективності моделі класифікації новин було проведено аналіз її здатності диференціювати фактично правдиві від фейкових повідомлень. Згідно з отриманими результатами, модель демонструє високу загальну точність класифікації на рівні 93,26%. Для класу "False", який умовно призначений щоб визначати фейкові новини, точність (precision) склала 92,58%, що свідчить про високу вірогідність коректної класифікації новини як фейкової, коли модель так визначає. Водночас, показник відновлення (recall) для цього класу становить 89,41%, що вказує на те, що 11,59% фейкових новин було пропущено моделлю. З іншого боку, для класу "True", який відповідає правдивим новинам, модель показала вражаючий показник відновлення на рівні успішної ідентифікацію 93,66% правдивих новин. Така здатність моделі ефективно класифікувати правдиві новини є важливою характеристикою в контексті боротьби з дезінформацією.

Аналітичний підхід до оцінки роботи моделі також охоплював аналіз матриці помилок. У цій матриці відзначено 1596 істинно-негативних результатів (True Negative), що підтверджує коректну класифікацію фейкових новин. Однак, виявлено 189 хибно-негативних результатів (False Negative), що вказує на існування певної кількості фейкових новин, які модель помилково класифікувала як правдиві. Для класу правдивих новин зареєстровано 2790 істинно-позитивних результатів (True Positive) та 128 хибно-позитивних (False Positive), демонструючи високу точність виявлення фактично правдивого контенту. Оцінка F1 для обох класів, яка гармонізує точність і відновлення, виявилась на рівні 89,41% для "False" і 95,61% для "True", що в цілому підтверджує збалансованість та надійність моделі.

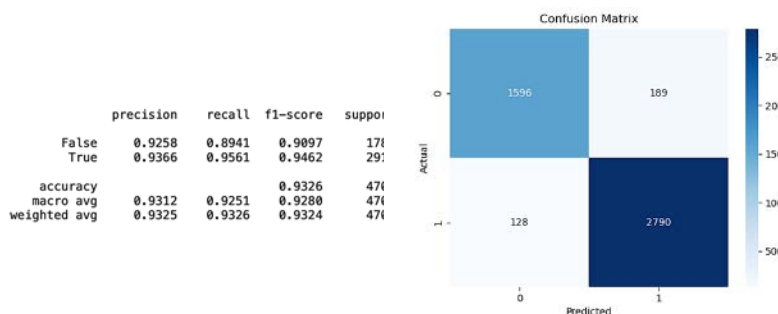


Рис. 2. Результати оцінювання

Аналізуючи результати, представлені в Таблиці 1, можна зробити науково обґрунтовані висновки про ефективність методу OLTW-TEC у порівнянні з класичними підходами класифікації. Розглядаючи кожну метрику окремо, бачимо, що метод OLTW-TEC демонструє суттєві поліпшення за більшістю параметрів.

У контексті точності (precision) для класу "True", OLTW-TEC досягає значення 93,66%, що перевершує всі представлені класичні методи. Це свідчить про високу здатність OLTW-TEC коректно ідентифікувати фейкові новини. Щодо класу "False", точність OLTW-TEC становить 92,58%, що вищим показником порівно з іншими більшістю представлених моделей, є порівнянним з Random Forest, проте нижчим ніж SVM та Logistic Regression.

Показник відновлення (recall) для класу "False" у OLTW-TEC на рівні 89,41% значно вищий, ніж у всіх представлених моделей та KNN, який майже досягає такого ж показника, що вказує на здатність моделі виявляти фейкові новини серед негативного класу. Для класу "True" показник відновлення становить 95,61%, що підкреслює здатність до ідентифікації правдивих новин.

Гармонійне середнє між точністю та відновленням, визначене як оцінка F1, для OLTW-TEC складає 90,97% для класу "False" та 94,62% для класу "True". Значення оцінки F1 є найкращим результатом серед представлених класичних методів, що ефективно підтверджує збалансованість моделі між цими двома важливими показниками.

Загальна точність OLTW-TEC становить 93,26%, що є найвищим показником серед усіх розглянутих моделей (Таблиця 1), підтверджуючи її сильні позиції як надійного інструмента для класифікації новин. Матриця помилок також свідчить про високу кількість коректно класифікованих екземплярів для обох класів.

Розглядаючи результати, представлені у Таблиці 1, ми виявили значні досягнення у галузі виявлення фейкових новин за допомогою різноманітних підходів, що варіюються від глибокого навчання до мультимодального аналізу. Проте, виявлено важливу прогалину в наявних дослідженнях, що полягає у недостатній увазі до українськомовного контенту. Запропонований метод OLTW-TEC, зосереджений на українськомовному датасеті, заповнює цю прогалину, що свідчить про важливість розробки спеціалізованих рішень для конкретних мовних та культурних контекстів.

Порівняльний аналіз з іншими дослідженнями показав, що OLTW-TEC досягає значних результатів у точності, що демонструє значення в 92,58% для класу "False" та 93,66% для класу "True". Ці показники вказують на високу ефективність методу

у виявленні фейкових новин та правдивих повідомлень відповідно. Особливо цінною є здатність OLTW-TEC забезпечувати високу відновленість (recall) для класу "False" на рівні 89,41% та 95,61% для класу "True", що в сумі вирізняє результати серед представлених моделей на користь OLTW-TEC. Це вказує на ефективність методу в контексті виявлення фейкових новин, які часто мають складні патерни та можуть бути марковані як достовірні. Оцінки F1, які гармонізують точність і відновленість, також виділяють OLTW-TEC серед інших досліджень, підкреслюючи його збалансованість і надійність та демонструють найвищі показники для класів "True" та "False".

Загальна точність 93,26% свідчить про те, що OLTW-TEC може бути ефективним інструментом для боротьби з дезінформацією та виявлення фейкових новин. Матриця помилок підтверджує високу точність моделі з мінімальною кількістю помилкових класифікацій, що особливо важливо у ситуаціях, коли потрібно забезпечити достовірність інформації для запобігання паніки або дезінформації в критичні моменти.

Варто зазначити, що хоча OLTW-TEC показує значні результати у порівнянні з класичними методами, існують певні обмеження, які слід розглядати при інтерпретації цих результатів. По-перше, використання ансамблевих методів та техніки "ковзного вікна" вимагає значних обчислювальних ресурсів, що може обмежити широке застосування OLTW-TEC у реальному часі, особливо на пристроях з обмеженою обчислювальною потужністю.

По-друге, метод може бути чутливим до розміру «ковзного вікна», оскільки неправильний вибір розміру може призвести до перенавчання або недонавчання моделі,

Таблиця 1

Порівняння з розробленим методом

Model	Precision (False)	Precision (True)	Recall (False)	Recall (True)	F1-score (False)	F1-score (True)	Accuracy	Confusion Matrix (False, True)
Logistic Regression	94,80%	89,14%	80,62%	97,29%	87,13%	93,04%	90,96%	(1439, 346), (79, 2839)
SVM	96,91%	91,11%	84,31%	98,36%	90,17%	94,59%	93,03%	(1505, 280), (48, 2870)
Random Forest	92,65%	92,61%	87,51%	95,75%	90,00%	94,15%	92,62%	(1562, 223), (124, 2794)
Gradient Boosting	91,34%	85,14%	72,66%	95,78%	80,94%	90,15%	87,01%	(1297, 488), (123, 2795)
KNN	76,77%	92,59%	89,08%	83,52%	82,47%	87,82%	85,63%	(1590, 195), (481, 2437)
Decision Tree	80,51%	92,19%	87,96%	86,98%	84,07%	89,51%	87,35%	(1570, 215), (380, 2538)
XGBoost	87,11%	91,87%	86,67%	92,15%	86,89%	92,01%	90,07%	(1547, 238), (229, 2689)
AdaBoost	86,11%	87,88%	79,22%	92,19%	82,52%	89,98%	87,26%	(1414, 371), (228, 2690)
OLTW-TEC	92,58%	93,66%	89,41%	95,61%	90,97%	94,62%	93,26%	(1596, 189), (128, 2790)

особливо в умовах, де динаміка даних швидко змінюється. Це вимагає додаткових досліджень для оптимізації параметрів і вдосконалення адаптивності моделі.

По-третє, хоча OLTW-TEC продемонстрував високу ефективність на українськомовних даних, його універсальність і ефективність на датасетах інших мов і культурних контекстів ще не були повністю досліджені. Потрібні подальші експерименти для визначення, чи зможе метод зберегти аналогічні показники продуктивності в інших лінгвістичних середовищах.

Нарешті, враховуючи швидкість розвитку технологій і зміну манери поширення дезінформації, існує потреба в постійному оновленні та адаптації моделі для підтримання її актуальності. Це стосується не тільки алгоритмічних удосконалень, а й збору та інтеграції нових даних для тренування, що в свою чергу вимагає додаткових зусиль для забезпечення достовірності та якості вхідних даних.

В цілому, хоча OLTW-TEC показує обнадійливі результати, важливо підкреслити необхідність продовження розвитку та адаптації методу, щоб він міг ефективно відповідати на постійно змінювані виклики у галузі виявлення дезінформації.

У майбутніх наукових дослідженнях акцент буде зроблено на вдосконаленні методу OLTW-TEC, зокрема на розширенні його обчислювальної ефективності та адаптивності. Одним з пріоритетів є оптимізація алгоритмів для зменшення вимог до обчислювальної потужності, щоб метод міг бути застосований у ширшому спектрі застосунків, включаючи мобільні та інші пристрої з обмеженими ресурсами. Також буде зосереджено увагу на точнішому налаштуванні параметрів «ковзного вікна» з метою підвищення точності прогнозування в різноманітних умовах динамічного потоку даних. Іншим важливим напрямком є розширення валідації методу на різноманітних мовних датасетах, що дасть можливість визначити його універсальність та ефективність у глобальному контексті. Додатково, передбачається впровадження механізмів для постійного оновлення тренувального набору даних, що дасть змогу системі адаптуватися до нових патернів та форм дезінформації. Ці заходи мають на меті не лише поліпшити точність та надійність OLTW-TEC, а й забезпечити його стійкість до швидких змін у цифровому інформаційному просторі.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. У ході проведеного дослідження було детально розглянуто та оцінено ефективність методу OLTW-TEC (Online Learning with Sliding Windows for Text Classifier Ensembles), що представляє собою інноваційний підхід до задачі класифікації тексту в умовах нестаціонарності даних та динамічного онлайн навчання. Методика включає в себе використання ансамблю адаптивних класифікаторів, векторних представлень текстів, оптимізацію ваг класифікаторів за допомогою алгоритму Adam, а також впровадження механізму "ковзного вікна" для підтримки актуальності моделі.

За результатами оцінювання, представленими у звіті класифікації, OLTW-TEC продемонстрував високу загальну точність, досягнувши показника в 93,26%. Точність (precision) і відновлення (recall) для класу "False" виявилися відповідно 92,58% та 89,41%, що свідчить про високу ефективність виявлення фейкових новин з мінімальним відсотком помилкових пропусків. Для класу "True", модель забезпечила точність та відновлення з показниками 93,66% та 95,61%, тим самим підтверджуючи свою здатність до розпізнавання правдивих новин. Отримані результати ілюструють, що OLTW-TEC володіє високою збалансованістю між різними метриками, забезпечуючи надійну та ефективну класифікацію в реальних умовах.

Аналіз матриці помилок вказує на високий ступінь точності класифікації, з мінімальною кількістю хибно-позитивних та хибно-негативних результатів. Це демонструє надійність OLTW-TEC як інструменту для фільтрації інформації, що є особливо актуальним у контексті боротьби з дезінформацією.

У порівнянні з традиційними методами класифікації, OLTW-TEC не лише показує кращі результати за більшістю метрик, але й забезпечує простір для адаптації до змін у характері даних. Вибір розміру «ковзного вікна» та можливість його регулювання залежно від специфіки даних надає методу додаткову гнучкість і точність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Tao, W. & Peng, Y. Differentiation and unity: A cross-platform comparison analysis of online posts' semantics of the Russian-Ukrainian war based on Weibo and Twitter. *Communication and the Public*, 2023. 8(2), 105-124. DOI: <https://doi.org/10.1177/20570473231165563>.
2. Mainych, S., Bulhakova, A., & Vysotska, V. Cluster analysis of discussions change dynamics on twitter about war in Ukraine. *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume II: Computational Linguistics Workshop Kharkiv, Ukraine*, 2023. 3396, 490–530. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3396/paper39.pdf>.
3. Vasist, P. N., & Krishnan, S. Fake news and sustainability-focused innovations: A review of the literature and an agenda for future research. *Journal of Cleaner Production*, 2023. 388, 135933. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135933>.
4. Hamed, S. K., Ab Aziz, M. J., & Yaakub, M. R. A review of fake news detection approaches: A critical analysis of relevant studies and highlighting key challenges associated with the dataset, feature representation, and data fusion. *Heliyon*, e20382. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20382>.
5. Kondamudi, M. R., Sahoo, S. R., Chouhan, L., & Yadav, N. A comprehensive survey of fake news in social networks: Attributes, features, and detection approaches. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 2023. 35(6), 101571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101571>.
6. Hu, L., Wei, S., Zhao, Z., & Wu. B. Deep learning for fake news detection: A comprehensive survey. *AI Open*, 2022. 3, 133-155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiopen.2022.09.001>.
7. Phan, H. T., Nguyen, N. T., & Hwang, D. Fake news detection: A survey of graph neural network methods. *Applied Soft Computing*, 2023. 139, 110235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110235>.
8. Das, B., & Sudarshan, T. S. 'B. Multi-contextual learning in disinformation research: A review of challenges, approaches, and opportunities. *Online Social Networks and Media*, 2023. 34-35, 100247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.osnem.2023.100247>.
9. Ruffo, G., Semeraro, A., Giachanou, A., & Rosso, P. Studying fake news spreading, polarisation dynamics, and manipulation by bots: A tale of networks and language. *Computer Science Review*, 2023. 47, 100531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2022.100531>.
10. Baker, M., Jihad, K., & Taher, Y. Prediction of people sentiments on Twitter using machine learning classifiers during Russian aggression in Ukraine. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, 2023. 9(3), 189-206. DOI: <https://doi.org/10.5455/jjcit.71-1676205770>.
11. Peng, L., Jian, S., Kan, Z., Qiao, L., & Li, D. Not all fake news is semantically similar: Contextual semantic representation learning for multimodal fake news detection. *Information Processing & Management*, 2023. 61(1), 103564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2023.103564>.

12. Qu, Z., Meng, Y., Muhammad, G., & Tiwari, P. QMFND: A quantum multimodal fusion-based fake news detection model for social media. *Information Fusion*, 2023. 104, 102172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102172>.
13. Soga, K., Yoshida, S., & Muneyasu, M. Exploiting stance similarity and graph neural networks for fake news detection. *Pattern Recognition Letters*, 2024. 177, 26-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2023.11.019>.
14. Yang, H., Zhang, J., Zhang, L., Cheng, X., & Hu, Z. MRAN: Multimodal relationship-aware attention network for fake news detection. *Computer Standards & Interfaces*, 2024. 89, 103822. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2023.103822>.
15. Syed, L., Alsaedi, A., Alhuri, L. A., & Aljohani H. R. Hybrid weakly supervised learning with deep learning technique for detection of fake news from cyber propaganda. *Array*, 2023. 19, 100309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.array.2023.100309>.
16. Xie, B., & Li, Q. Detecting fake news by RNN-based gatekeeping behavior model on social networks. *Expert Systems with Applications*, 2023. 231, 120716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120716>.
17. Přibán, P., Hercig, T., & Steinberger, J. Machine learning approach to fact-checking in west slavic languages. *Proceedings of the Recent Advances in Natural Language Processing*, (973-979). Incoma Ltd., Shoumen, Bulgaria. 2019. DOI: https://doi.org/10.26615/978-954-452-056-4_113.
18. Bucos, M., & Drăgulescu, B. Enhancing fake news detection in Romanian using transformer-based back translation augmentation. *Applied Sciences*, 2023. 13(24), 13207. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132413207>.
19. Afanasieva, I., Golian, N., Golian, V., Khovrat, A., & Onyshchenko, K. Application of neural networks to identify of fake news. *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, Volume II: Computational Linguistics Workshop*, 2023. vol-3396, (346-358). Kharkiv, Ukraine. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3396/paper28.pdf>.
20. Bodyanskiy, Y. V., Lipianina-Honcharenko, K. V., & Sachenko, A. O. Ensemble of adaptive predictors for multivariate nonstationary sequences and its online learning. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2022. 4(67), 91-97. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-9>.
21. Gramyak, R., Lipyanina-Goncharenko, H., Sachenko, A., Lendyuk, T., & Zahorodnia, D. Intelligent method of a competitive product choosing based on the emotional feedbacks coloring. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security with CEUR-WS*, 2021. (246-257). Khmelnytskyi, Ukraine. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper31.pdf>.
22. Lipianina-Honcharenko, K., Savchysyn, R., Sachenko, A., Chaban, A., Kit, I., & Lendiuk, T. Concept of the intelligent guide with AR support. *International Journal of Computing*, 2022. 21(2), 271-277. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.21.2.2596>.
23. Lipianina-Honcharenko, K., Wolff, C., Sachenko, A., Desyatnyuk, O., Sachenko, S., & Kit, I. Intelligent information system for product promotion in internet market. *Applied Sciences*, 2023. 13(17), 9585. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179585>.
24. Lipyanina, H., Sachenko, O., Lendyuk, T., Sachenko, A., & Vasylyuk, N. Intelligent method of forming the HR management short-term project. in: Shakhovska, N., Medykovsky, M.O. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing V. CSIT 2020, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021. vol. 1293, (1045-1055), Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63270-0_71.
25. Golovko, V., Kroshchanka, A., Komar, M., & Sachenko, A. Neural network approach for semantic coding of words. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020. 1020, 647-658. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_45.
26. Lipianina-Honcharenko, K., Lendiuk, T., Sachenko, A., Osolinskyi, O., Zahorodnia, D., & Komar, M. An intelligent method for forming the advertising content of higher education institutions based on semantic analysis, in: *Ignatenko, O., et al. ICTERI 2021 Workshops. ICTERI 2021, Communications in Computer and Information Science*,

2022. vol. 1635, (169–182), Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_11.

27. Ukrainian news. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/zeppo/ukrainian-fake-and-true-news?resource=download>

REFERENCES:

1. Tao, W. & Peng, Y. (2023). Differentiation and unity: A cross-platform comparison analysis of online posts' semantics of the Russian–Ukrainian war based on Weibo and Twitter. *Communication and the Public*, 8(2), 105–124. DOI: <https://doi.org/10.1177/20570473231165563>.
2. Mainych, S., Bulhakova, S. A., & Vysotska, V. (2023). Cluster analysis of discussions change dynamics on twitter about war in Ukraine. *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume II: Computational Linguistics Workshop Kharkiv, Ukraine*, 3396, 490–530. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3396/paper39.pdf>
3. Vasist, P. N., & Krishnan, S. (2023). Fake news and sustainability-focused innovations: A review of the literature and an agenda for future research. *Journal of Cleaner Production*, 388, 135933. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135933>.
4. Hamed, S. K., Ab Aziz, M. J., & Yaakub, M. R. (2023). A review of fake news detection approaches: A critical analysis of relevant studies and highlighting key challenges associated with the dataset, feature representation, and data fusion. *Heliyon*, e20382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20382>.
5. Kondamudi, M. R., Sahoo, S. R., Chouhan, L., & Yadav, N. (2023). A comprehensive survey of fake news in social networks: Attributes, features, and detection approaches. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 35(6), 101571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101571>.
6. Hu, L., Wei, S., Zhao, Z., & Wu, B. (2022). Deep learning for fake news detection: A comprehensive survey. *AI Open*, 3, 133–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aiopen.2022.09.001>.
7. Phan, H. T., Nguyen, N. T., & Hwang, D. (2023). Fake news detection: A survey of graph neural network methods. *Applied Soft Computing*, 139, 110235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110235>.
8. Das, B., & Sudarshan, T. S. B. (2023). Multi-contextual learning in disinformation research: A review of challenges, approaches, and opportunities. *Online Social Networks and Media*, 34–35, 100247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.osnem.2023.100247>.
9. Ruffo, G., Semeraro, A., Giachanou, A., & Rosso, P. (2023). Studying fake news spreading, polarisation dynamics, and manipulation by bots: A tale of networks and language. *Computer Science Review*, 47, 100531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2022.100531>.
10. Baker, M., Jihad, K., & Taher, Y. (2023). Prediction of people sentiments on Twitter using machine learning classifiers during Russian aggression in Ukraine. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, 9(3), 189–206. DOI: <https://doi.org/10.5455/jjcit.71-1676205770>.
11. Peng, L., Jian, S., Kan, Z., Qiao, L., & Li, D. (2023). Not all fake news is semantically similar: Contextual semantic representation learning for multimodal fake news detection. *Information Processing & Management*, 61(1), 103564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2023.103564>.
12. Qu, Z., Meng, Y., Muhammad, G., & Tiwari, P. (2023). QMFND: A quantum multimodal fusion-based fake news detection model for social media. *Information Fusion*, 104, 102172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.102172>.
13. Soga, K., Yoshida, S., & Muneyasu, M. (2024). Exploiting stance similarity and graph neural networks for fake news detection. *Pattern Recognition Letters*, 177, 26–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2023.11.019>.

14. Yang, H., Zhang, J., Zhang, L., Cheng, X., & Hu, Z. (2024). MRAN: Multimodal relationship-aware attention network for fake news detection. *Computer Standards & Interfaces*, 89, 103822. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2023.103822>.
15. Syed, L., Alsaeedi, A., Alhuri, L. A., & Aljohani H. R. (2023). Hybrid weakly supervised learning with deep learning technique for detection of fake news from cyber propaganda. *Array*, 19, 100309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.array.2023.100309>.
16. Xie, B., & Li, Q. (2023). Detecting fake news by RNN-based gatekeeping behavior model on social networks. *Expert Systems with Applications*, 231, 120716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120716>.
17. Přibán, P., Hercig, T., & Steinberger, J. (2019). Machine learning approach to fact-checking in west slavic languages. *Proceedings of the Recent Advances in Natural Language Processing*, (973-979). Incoma Ltd., Shoumen, Bulgaria. DOI: https://doi.org/10.26615/978-954-452-056-4_113.
18. Bucos, M., & Drăgulescu, B. (2023). Enhancing fake news detection in Romanian using transformer-based back translation augmentation. *Applied Sciences*, 13(24), 13207. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132413207>.
19. Afanasieva, I., Golian, N., Golian, V., Khovrat, A., & Onyshchenko, K. (2023). Application of neural networks to identify of fake news. *Proceedings of the 7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, Volume II: Computational Linguistics Workshop*, vol-3396, (346–358). Kharkiv, Ukraine. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3396/paper28.pdf>.
20. Bodyanskiy, Y. V., Lipianina-Honcharenko, K. V., & Sachenko, A. O. (2022). Ensemble of adaptive predictors for multivariate nonstationary sequences and its online learning. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 4(67), 91–97. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-9>.
21. Gramyak, R., Lipyanina-Goncharenko, H., Sachenko, A., Lendyuk, T., & Zahorodnia, D. (2021). Intelligent method of a competitive product choosing based on the emotional feedbacks coloring. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security with CEUR-WS*, (246-257). Khmelnytskyi, Ukraine. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper31.pdf>.
22. Lipianina-Honcharenko, K., Savchyshyn, R., Sachenko, A., Chaban, A., Kit, I., & Lendiuk, T. (2022). Concept of the intelligent guide with AR support. *International Journal of Computing*, 21(2), 271–277. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.21.2.2596>.
23. Lipianina-Honcharenko, K., Wolff, C., Sachenko, A., Desyatnyuk, O., Sachenko, S., & Kit, I. (2023). Intelligent information system for product promotion in internet market. *Applied Sciences*, 13(17), 9585. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179585>.
24. Lipyanina, H., Sachenko, O., Lendyuk, T., Sachenko, A., & Vasylyuk, N. (2021). Intelligent method of forming the HR management short-term project. in: Shakhovska, N., Medykovsky, M.O. (eds) *Advances in Intelligent Systems and Computing V. CSIT 2020, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1293, (1045–1055), Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63270-0_71.
25. Golovko, V., Kroshchanka, A., Komar, M., & Sachenko, A. (2020). Neural network approach for semantic coding of words. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1020, 647–658. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_45.
26. Lipianina-Honcharenko, K., Lendiuk, T., Sachenko, A., Osolinskyi, O., Zahorodnia, D., Komar, M. (2022). An intelligent method for forming the advertising content of higher education institutions based on semantic analysis, in: Ignatenko, O., et al. *ICTERI 2021 Workshops. ICTERI 2021, Communications in Computer and Information Science*, vol. 1635, (169–182), Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_11.
27. Ukrainian news. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/zeppo/ukrainian-fake-and-true-news?resource=download>

УДК 004.94:517.977

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.7>

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

Маринич І. А. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-9036-8532
Scopus-Author ID: 56468018300

Харламенко В. Ю. – кандидат технічних наук, старший викладач
кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-4008-5518
Scopus-Author ID: 56449063500

Стаття присвячена можливості керувати транспортними потоками за допомогою регульованого світлофора, який спрямовуватиме їх у потрібному напрямку, виходячи із завантаженості магістралей. Світлофори відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху та зниженні кількості конфліктних ситуацій між різними учасниками транспорту. Вони сприяють регулюванню транспортних потоків, покращують організацію руху на перехрестях і забезпечують більш плавний та безпечний рух для водіїв і пішоходів. Основна функція світлофорів полягає в координації потоків транспорту і пішоходів шляхом надання чітких сигналів, які визначають, коли слід рухатися, а коли зупинитися, але їхня загальна мета залишається незмінною – забезпечення безпеки та упорядкованості дорожнього руху, але експериментувати з реальним світлофором уважається неможливим, до того ж спосіб аналізу даних є трудомістким. Для розв'язання такої проблеми може застосовуватися моделювання. Метою роботи є розробка алгоритму адаптивного керування режимом роботи світлофора на основі моделі клітинних автоматів. Для цього необхідно було дослідити модель транспортного потоку для оптимізації роботи світлофорів та відповідні моделі, що дозволяють виконати багатокритеріальну оптимізацію. У процесі дослідження була побудована модель перехрестя на основі клітинного автомата. Запропоновано адаптивний алгоритм керування світлофором і визначено його оптимальні параметри. Оцінювалася ефективність класичного та адаптивного алгоритмів керування світлофором за різної кількості автомобілів. Як чисельні показники для порівняння використовувалися час, необхідний для повного розвантаження перехрестя, і час простою автомобілів. Розроблений алгоритм дозволяє скоротити час перебування автомобілів на перехресті, забезпечує збільшення пропускної здатності світлофору й відповідне зменшення впливу вихлопних газів на навколишнє середовище.

Ключові слова: алгоритм управління, критерії оптимізації, матриця станів, світлофор, теорія клітинних автоматів, транспортний потік.

Marynych I. A., Kharlamenko V. Yu. Modeling and investigation of transport flows using cellular automata

The article is devoted to the possibility of controlling traffic flows by means of a controllable traffic light that directs them in the required direction based on the congestion level of main roads. Traffic lights play a key role in ensuring road safety and reducing the number of conflict situations among different road users. They help regulate traffic flows, improve traffic organization at intersections, and provide smoother and safer movement for both drivers and pedestrians. The main function of traffic lights is to coordinate the movement of vehicles and pedestrians by providing clear signals indicating when to move and when to stop. Their overarching goal remains the same – to ensure safety and orderliness on the roads. However, experimenting with a real traffic light system is considered infeasible, and the data analysis process is rather labor-intensive. Modeling can be used to address this problem. The aim of this study is to develop an adaptive algorithm for controlling the operating mode of a traffic light based on a cellular automata model. To achieve this, it was necessary to investigate a traffic flow model to optimize

traffic light operation as well as corresponding models that enable multi-criteria optimization. In the course of the study, a cellular automaton-based intersection model was constructed. An adaptive traffic light control algorithm was proposed and its optimal parameters were determined. The effectiveness of both the classical and adaptive traffic light control algorithms was evaluated for different numbers of vehicles. The numerical indicators used for comparison were the time required to fully clear the intersection and the vehicle idle time. The developed algorithm helps reduce the time vehicles spend at an intersection, increases the throughput capacity of the traffic light, and correspondingly decreases the impact of exhaust fumes on the environment.

Key words: control algorithm, optimization criteria, state matrix, traffic light, cellular automata theory, traffic flow.

Вступ. Щороку автопарк транспортних засобів продовжує зростати, що призводить до збільшення заторів на дорогах. Однак причина цієї проблеми полягає не лише у зростанні кількості автомобілів, а й у поведінці самих водіїв. Ефективним вирішенням цієї ситуації може стати цифровізація управління транспортною інфраструктурою. У зв'язку з цим багато компаній активно працюють над створенням інтелектуальних транспортних засобів і «розумних» доріг [1]. Одним із можливих рішень є контроль транспортних потоків за допомогою адаптивних світлофорів, які здатні змінювати напрямок руху залежно від завантаженості автомагістралей. Однак експерименти з реальними світлофорами є технічно складними та ризикованими, а також вимагають значних ресурсів для аналізу даних. Для розв'язання цієї проблеми доцільно застосовувати методи моделювання, що дозволяють створити віртуальну модель руху та оптимізувати роботу світлофорів без ризику для реального трафіку.

Світлофори відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху та зниженні кількості конфліктних ситуацій між різними учасниками транспорту [2]. Вони сприяють регулюванню транспортних потоків, покращують організацію руху на перехрестях і забезпечують більш плавний та безпечний рух для водіїв і пішоходів.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення моделі транспортних потоків на основі теорії клітинних автоматів, зокрема перехрестя з двостороннім рухом, та застосування адаптивного алгоритму керування світлофором до цієї моделі, що підвищує пропускну здатність перехрестя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші клітинні автомати для моделювання доріг були використані в роботах Нагеля і Шрекенберга. Модель Нагеля-Шракенберга – це базова стохастична клітинно-автоматна модель для опису транспортних потоків, зокрема дорожнього руху і слугує одним із найпоширеніших підходів для дослідження динаміки потоків автомобілів на магістралях. Основна ідея моделі полягає у дискретизації часу та простору. Дорогу розглядають як послідовність клітин (комірок), де кожна клітина може бути вільною або зайнятою одним автомобілем. Завдяки простим і водночас гнучким правилам ця модель здатна відтворювати такі явища, як утворення заторів, фазові переходи між вільним та щільним рухом тощо. Данна модель часто використовується як основа для подальшого моделювання та вдосконалення алгоритмів керування транспортними потоками.

У [3] розглядалася єдина дорожня лінія (автомобілі рухалися в одному напрямку), дорога ділиться на L-клітин. Кожна клітинка має довжину 7,5 м, і в кожній клітинці може міститися автомобіль або залишатися порожньою. $x_i(t)$, $v_i(t)$ позначають положення і швидкість i -го вагона в момент часу t відповідно. Швидкість приймає ціле значення зі змінними від 0 до v_{max} , де v_{max} – максимальна швидкість руху транспортного засобу. $d_i(t)$ позначає відстань між i та $i+1$ вагоном.

Дана модель складається з 4 правил:

1. *Прискорення*. Якщо $v_i < v_{max}$, то швидкість i -го автомобіля збільшується на одиницю; якщо $v_i = v_{max}$, то швидкість не змінюється:

$$v_i(t+1) = \min(v_i(t) + 1, v_{max}) \quad (1)$$

2. *Гальмування* – якщо перед i -м автомобілем є перешкода, то швидкість дорівнює відстані до перешкоди:

$$v_i(t+1) = \min(v_i(t) + 1, d_i(t)) \quad (2)$$

3. *Випадкові збурення* – існує ймовірність p , при якій швидкість автомобіля зменшується на одиницю:

$$\text{if } e(t) < p \text{ then } v_i(t+1) = \max(v_i(t+1) - 1, 0) \quad (3)$$

4. *Рух автомобілів* – це зміна положення машини на полі клітинного автомату відповідно до знову розрахованої швидкості:

$$x_i(t+1) = v_i(t+1) + x_i(t) \quad (4)$$

У роботі [4] китайські дослідники проаналізували 3-є правило моделі Нагеля–Шракенберга і прийшли до висновку, що ймовірність p не повинна бути постійною, а залежати від поточної швидкості і відстані до наступного автомобіля. Пояснюється це тим, що якщо наступна машина знаходиться далеко, то ймовірність того, що водій зменшить швидкість, невелика. У роботі [5] автори доповнюють модель Нагеля–Шракенберга правилами, які дозволяють машинам переходити з однієї лінії на іншу. Робота [6] додає правила не тільки переходу автомобілів з лінії на лінію, а й правила обгону автомобілів. У роботі [7] розглядають застосування методу Монте-Карло для розрахунку затримок роботи світлофору. Однак більшість робіт, присвячених моделюванню транспортних потоків за допомогою клітинних автоматів, не описують перехрестя в своїх моделях. У даній роботі буде реалізована модель з двома смугами руху і регульованим перехрестям.

Виклад основного матеріалу. Використання клітинних автоматів передбачає наявність матриці (масиву) станів, зміна яких відбувається одночасно. Для моделювання перехрестя та руху автомобілів також були введені додаткові матриці напрямків і допустимих переміщень. Визначимо, де в матриці станів розміщені автомобілі, дорога, світлофор, а також ділянки, що не належать до дорожньої мережі й які назовемо «Стіна». На рис. 1,а показано сітку станів комірок. Відповідні стани: «стіна» (wall), «дорога» (road), «автомобілі» (car), «світлофор» (traffic light).

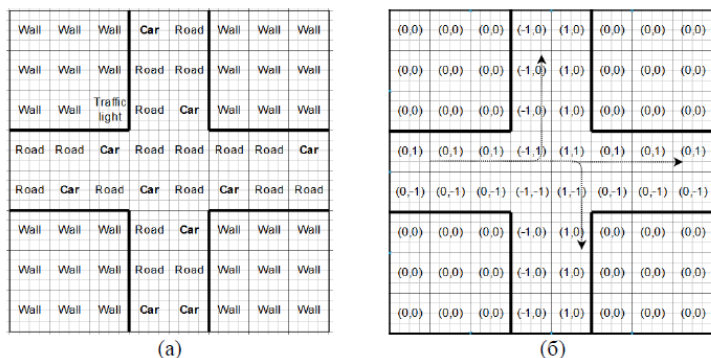


Рис. 1. Матриця станів комірок (а), матриця напрямків комірок (б)

Матриця напрямків (рис. 1,б) демонструє напрямок, у якому буде рухатися автомобіль. Перше число масиву відповідає переміщенню по вертикальній осі, а друге – по горизонтальній. Таким чином, додатне значення по горизонталі означає рух вправо, а додатне по вертикалі – вниз, тоді як від'ємні значення вказують на протилежні напрямки.

Матриця дозволених переміщень описує можливі на даний момент переміщення, які залежать від стану світлофора (рис. 2).

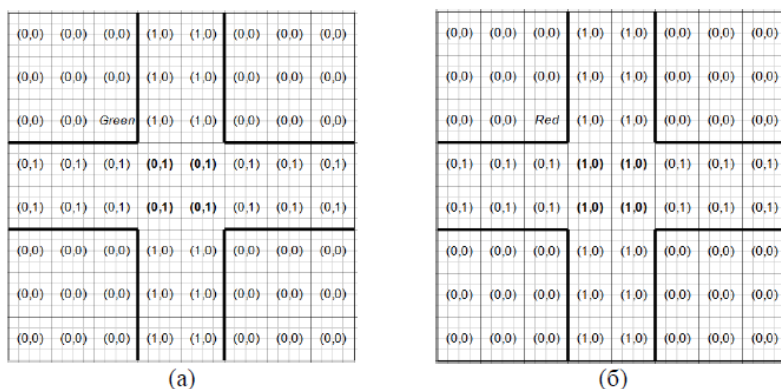


Рис. 2. Матриця дозволених переміщень для зеленого (а), для червоного (б) режимів роботи світлофора

Наприклад, коли горить «зелений» сигнал, дозволено лише рух по горизонтальній осі (0,1). У випадку «червоного» сигналу переміщення можливе тільки по вертикальній осі (1,0). Сигнал «жовтий» встановлює всі компоненти масиву дозволених переміщень всередині перехрестя як нульові (0,0), що означає заборону руху всередині перехрестя. На рис. 3 кожній клітинці, що містить автомобіль, призначимо швидкість, яка залежить від напрямку його руху.

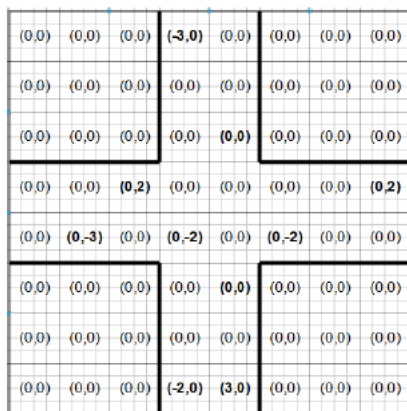


Рис. 3. Матриця швидкостей

Тут швидкість відповідає кількості клітин, на які автомобіль може переміститися по вертикальній та горизонтальній осях. У клітинках без автомобілів швидкості не задаються.

Перешкодою вважається автомобіль, що рухається в заданому напрямку, ділянка перехрестя при забороні руху по відповідній траєкторії, а також клітинки типу WALL. Визначення перешкод здійснюється шляхом огляду клітин, розташованих уздовж напрямку руху. Перехрестя стає перешкодою, коли матриця дозволених переміщень для певного напрямку набуває нульового значення. Для горизонтального руху це можуть бути (1,0) або (0,0), а для вертикального – (0,1) або (0,0). У таких випадках перехрестя утворює перешкоду.

Оскільки кількість клітин обмежена, масив не зберігає безмежну кількість елементів. Тому, у разі відсутності перешкоди, відстань встановлюється як нескінченність і набуває максимально можливого цілого значення типу Integer. В цьому випадку автомобіль прискорюється до максимально дозволеної швидкості.

Основними правилами руху автомобілів є принципи моделі Нагеля-Шрекенберга. Згідно з цими принципами, автомобілі переміщуються в межах матриці станів. Рух автомобілів здійснюється шляхом зміни координатних значень у матриці станів. До координат матриці, які містять автомобілі, додається швидкість. Швидкість визначається за правилами Нагеля-Шрекенберга: автомобіль прискорюється (його швидкість збільшується на одиницю) до максимально заданого значення, якщо на шляху руху немає перешкод; автомобіль гальмує (швидкість встановлюється рівною відстані до перешкоди), якщо його поточна швидкість перевищує відстань до наступної перешкоди. У правилах Нагеля-Шрекенберга також передбачено випадок стохастичного гальмування: швидкість автомобіля зменшується на одиницю з певною ймовірністю, проте ми вважаємо за доцільне відмовитися від останнього правила про випадкові збурення, оскільки відстань між перехрестями в реальному місті недостатньо велика, щоб водій постійно гальмував. Таким чином, автомобіль переміщується всередині матриці станів. Нова матриця станів записується в іншу матрицю станів, щоб забезпечити одночасність переходів та уникнути ручного видалення попередніх станів.

Були розглянуті класичний та адаптивний алгоритми роботи, розглянемо більш детально саме другий.

Запропонований алгоритм враховує кількість автомобілів, що рухаються у напрямку до перехрестя, а також відстань кожного з них від перехрестя. Основні етапи роботи алгоритму наведені нижче.

1. На кожній ітерації клітинного автомата для вертикальних та горизонтальних напрямків обчислюються значення наступних функцій:

$$f_V(t) = \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{V_{oi}}(t)} \right)^p + \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{V_{1i}}(t)} \right)^p \quad (5)$$

$$f_H(t) = \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{H_{oi}}(t)} \right)^p + \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{H_{1i}}(t)} \right)^p \quad (6)$$

де:

$\text{distance}_{V_{oi}}(t)$ – відстань до перехрестя для першої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по вертикалі;

$\text{distance}_{V_{1i}}(t)$ – відстань до перехрестя для другої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по вертикалі;

$\text{distance}_{H_{oi}}(t)$ – відстань до перехрестя для першої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по горизонталі;

$\text{distance}_{H_{1i}}(t)$ – відстань до перехрестя для другої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по горизонталі;

$p > 0$ – степеневий параметр.

2. На наступному етапі визначається відношення обчислених функцій, після чого здійснюється зміна стану світлофора. Перемикання залежить від поточного стану світлофора. Так:

- Якщо поточний стан світлофора – RED і $\frac{f_H(t)}{f_V(t)} > k$, то відбувається перехід у стан RED_TO_GREEN, де k – інерційний параметр;
 - Якщо поточний стан світлофора – GREEN і $\frac{f_V(t)}{f_H(t)} > k$ то відбувається перехід у стан GREEN_TO_RED;
 - Якщо поточний стан світлофора – RED_TO_GREEN, то обробка станів відбувається так само, після того, як numberOfIterations перевищить тривалість даного стану, що визначається змінною time_yellow, стан світлофора перемикається в GREEN;
 - Якщо поточний стан світлофора – GREEN_TO_RED, обробка станів відбувається так само, після того, як numberOfIterations перевищить тривалість даного стану, що визначається змінною time_yellow, стан світлофора перемикається в RED.
- Для більшої наочності на рис. 4 представлена схема переходів між станами.

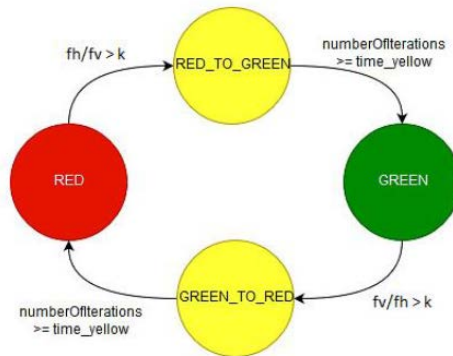


Рис. 4. Схема перемикання світлофора згідно алгоритму

Запропонований алгоритм включає два параметри, які можна вільно налаштувати: показник p та коефіцієнт k . Вибір цих параметрів впливає на тривалість, необхідну для зняття навантаження з перехрестя, а також на час простою автомобілів. Для оцінки ефективності цих параметрів використовуються два критерії: час простою автомобіля (період, протягом якого автомобіль перебуває у стані стоянки) та час розвантаження перехрестя (час, необхідний для того, щоб усі автомобілі покинули зону перехрестя). Завдання оптимізації полягає у мінімізації обох цих показників.

Розроблена модель передбачає випадкове розміщення автомобілів на різних ділянках дороги. Для досягнення більш точних результатів було проведено 20 експериментів для кожної заданої кількості автомобілів. У підсумку обчислювалося середнє арифметичне значення часу простою та часу розвантаження.

Підсумовуючи отримані дані, можна зробити висновок, що в діапазоні степеневого показника $p < 2$ та при коефіцієнті $k > 5$ як час простою, так і час розвантаження досягають найнижчих значень. Подальше збільшення значення k не спричинило покращення результатів: час простою та час розвантаження залишалися приблизно на однаковому рівні.

Рисунки 5–6 демонструють залежність середнього арифметичного часу розвантаження та середнього арифметичного часу простою від початкової кількості автомобілів при використанні адаптивного алгоритму з різними параметрами, а також класичного алгоритму управління світлофором.

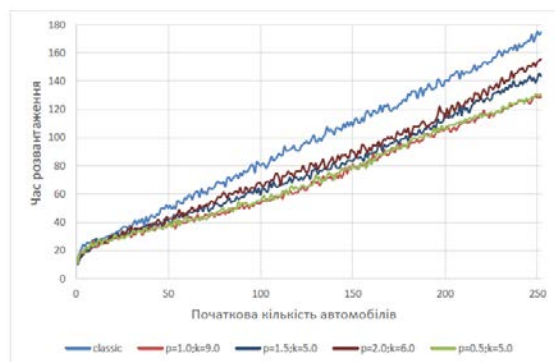


Рис. 5. Залежність часу навантаження від початкової кількості автомобілів

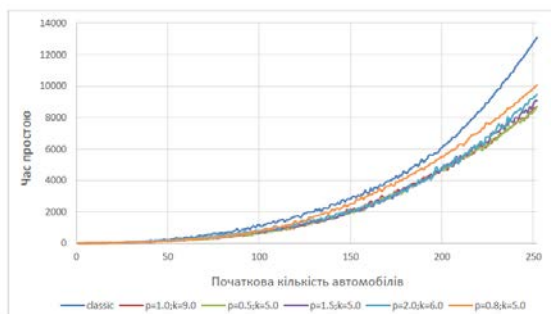


Рис. 6. Залежність часу простою від початкової кількості автомобілів

Розроблена модель транспортних потоків може вміщувати до 252 автомобілів. Таблиця 1 представляє порівняльні характеристики, де адаптивний алгоритм має параметри: $p = 0,5$ та $k = 5$. На основі цих даних можна зробити висновок про ефективність розробленого алгоритму: з ростом кількості автомобілів він працює більш ефективно.

Наприклад, при кількості автомобілів, що дорівнює 100, час розвантаження перехрестя зменшується на 30 ітерацій, а час простою – на 300 ітерацій порівняно з класичним алгоритмом. При кількості автомобілів 200 час розвантаження перехрестя скорочується на 40 ітерацій, а час простою – на 1600 ітерацій у порівнянні з класичним підходом.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика алгоритмів

Алгоритм	Кількість машин					
	50		150		250	
	Час простою	Час розвантаження	Час простою	Час розвантаження	Час простою	Час розвантаження
Класичний	50,15	218,2	108,3	2819,7	12759,1	174,9
Адаптивний	36,8	155,7	77,9	2016,9	8354,8	129,9
Різнця	13,3	62,5	30,4	802,8	4404,3	45

Таким чином, було доведено ефективність розробленого адаптивного алгоритму керування транспортними потоками.

Висновки. Була побудована модель транспортних потоків на основі клітинних автоматів, що описує двосторонній рух, перехрестя, що регулюється світлофором і до неї застосовано розроблений адаптивний алгоритм управління світлофорами. Розроблений алгоритм дозволяє скоротити час перебування автомобілів на перехресті та забезпечує збільшення пропускної здатності світлофору. Шляхом побудови тривимірних графіків були визначені найбільш оптимальні значення цих параметрів. Наприклад, для параметра потужності оптимальні значення знаходяться в діапазоні $(0, 2]$, а оптимальні значення інерційного параметра – в діапазоні $(5, \infty)$. При цих значеннях параметрів адаптивний алгоритм на 70% перевершує класичний алгоритм для даної моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. The INRIX global traffic scorecard. URL: <http://inrix.com/scorecard/> (дата звернення 05.10.2024).
2. Скульбеденко Н.А. Методика розрахунку пішохідних затримок при регулюванні пішохідних переходів. Вісник ВНТУ № 3 (39) 2009. с. 76-79.
3. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I. France*. 1992. Vol. 2. pp. 2221-2229.
4. Yong Chen, Hong He, Ning Zhou. Traffic Flow Modeling and Simulation Based on A Novel Cellular Learning Automaton. *The International Conference of Intelligent Robotic and Control Engineering, IEEE*. 2018.
5. Chongyuan Tao, Jian Zhang. A Cellular Automata Simulation on Multi-lane Traffic Flow for Designing Effective Rules. *International Conference on Industrial Informatics-Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration, IEEE*. 2015.
6. Xiao-Fangyang, Jun-Feng Li. Study on the traffic flow under keep-right-except-to-pass rule based on cellular automata model. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), IEEE*. 2015.
7. Андронов Р.В., Леверенець Є.А. Розрахунок за методом Монте-Карло затримок транспортного засобу на ізольованому регульованому перехресті при його роботі при високих рівнях навантаження. Вісник СумДГУ 2017. № 1(60). С. 221-226.

REFERENCES:

1. The INRIX global traffic scorecard. URL: <http://inrix.com/scorecard/>
2. Skulbedenko N.A. (2009) Metodyka rozrakhunku pishokhidnykh zatrymok pry rehuliuванні pishokhidnykh perekhodiv. [Methodology for calculating pedestrian delays in the regulation of pedestrian crossings]. Visnyk of VNTU [in Ukrainian].
3. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I. France*. 1992. Vol. 2. pp. 2221-2229.
4. Yong Chen, Hong He, Ning Zhou. (2018) Traffic Flow Modeling and Simulation Based on A Novel Cellular Learning Automaton. IEEE.
5. Chongyuan Tao, Jian Zhang. (2015) A Cellular Automata Simulation on Multi-lane Traffic Flow for Designing Effective Rules. IEEE.
6. Xiao-Fangyang, Jun-Feng Li.(2015) Study on the traffic flow under keep-right-except-to-pass rule based on cellular automata model. IEEE.
7. Andronov, R. V., Leverenets, Ye. A. (2017) Rozrakhunok za metodom Monte-Karlo zatrymok transportnoho zasobu na izolovanomu rehulovanomu perekhresty pry yoho roboty pry vysokykh rivniakh navantazhennia. [Calculation of vehicle delays at an isolated signalized intersection using the Monte Carlo method under high traffic load levels]. Visnyk of SumDU [in Ukrainian].

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.8>

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО АГРЕГАТОРА ВАКАНСІЙ В ІТ-ГАЛУЗІ

Ольховська О. В. – кандидат фізико-математичних наук,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID ID: 0000-0001-5366-5995

Кошова О. П. – кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID ID: 0000-0003-0794-6774

Черненко О. О. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID ID: 0000-0002-9084-0999

Тур В. М. – аспірант Полтавського університету економіки і торгівлі
ORCID ID: 0009-0003-2825-1434

У статті досліджено актуальність розробки автоматизованого агрегатора вакансій для ІТ-сфери, яка є однією з найбільш динамічних галузей сучасного ринку праці. Висвітлено ключові проблеми, пов'язані з пошуком роботи в умовах зростаючої конкуренції та великої кількості вакансій. Описано функціональність розробленого мобільного додатку для операційної системи Android, який дозволяє користувачам здійснювати пошук вакансій на таких популярних платформах, як Work.ua та Jooble. Основною особливістю додатку є використання сучасних технологій та бібліотек, таких як Kotlin, Kotlin, Jsoup, архітектуру шаблону MVVM і Lottie. Це забезпечує високу продуктивність, модульність та зручність використання.

Алгоритм роботи програми детально описує процес пошуку вакансій, починаючи з введення пошукового запиту, аналізу HTML-сторінок сайтів за допомогою Jsoup, збору необхідної інформації та закінчуючи відображенням результатів користувачу. Також передбачено обробку помилок, фільтрацію вакансій за заданими критеріями та управління станом підключення до Інтернету. Представлено діаграму класів програмного забезпечення, яка демонструє архітектуру основних компонентів додатку, їх взаємозв'язки та залежності. Виокремлено ключові елементи: інтерфейси, репозиторії, моделі даних, ViewModel та фрагменти.

Основні функціональні можливості додатку включають інтеграцію пошуку з різних джерел, парсинг вакансій, динамічні анімації для покращення взаємодії з користувачем, а також зручну навігацію між екранами.

Результати дослідження вказують на ефективність розробленого рішення та його потенціал для розширення. Перспективними напрямками подальших розвідок є інтеграція нових платформ, впровадження машинного навчання для персоналізації пошуку та розробка версій для інших операційних систем.

Ключові слова: вакансії у сфері ІТ, архітектура MVVM, UX/UI-дизайн, персоналізація сервісів, оптимізація процесів.

Olkhovska O. V., Koshova O. P., Chernenko O. O., Tour V. M. Development of a mobile automated vacancy aggregator in the IT industry

The article explores the relevance of developing an automated job aggregator for the IT sector, which is one of the most dynamic sectors of the modern labor market. It highlights key issues related to job searching in the face of growing competition and a large number of vacancies. The

functionality of the developed mobile application for the Android operating system is described, which allows users to search for vacancies on such popular platforms as Work.ua and Jooble. The main feature of the application is the use of modern technologies and libraries, such as Kotlin, Koin, Jsoup, the MVVM architectural pattern and Lottie. This ensures high performance, modularity and ease of use. The program's algorithm describes in detail the process of searching for vacancies, starting from entering a search query, analyzing HTML pages of sites using Jsoup, collecting the necessary information, and ending with displaying the results to the user. It also provides error handling, filtering vacancies according to specified criteria, and managing the state of the Internet connection. A software class diagram is presented, which demonstrates the architecture of the main components of the application, their relationships and dependencies. Key elements are highlighted: interfaces, repositories, data models, ViewModel and fragments.

The main functionalities of the application include integration of search from various sources, job parsing, dynamic animations to improve user interaction, as well as convenient navigation between screens.

The results of the study indicate the effectiveness of the developed solution and its potential for expansion. Promising areas for further exploration include the integration of new platforms, the implementation of machine learning for search personalization, and the development of versions for other operating systems.

Key words: *vacancies in the field of IT, MVVM architecture, UX/UI design, service personalization, process optimization.*

Актуальність роботи. У сучасному світі, де ключовими факторами для багатьох користувачів стають швидкість доступу до інформації та зручність комунікації, месенджери, веб-додатки та інші інформаційні технології набувають широкого застосування у бізнес-комунікаціях, клієнтському обслуговуванні, вивченні ринку праці [1–3]. З кожним роком кількість вакансій в IT-секторі зростає, але водночас зростає й конкуренція серед претендентів на ці позиції. У такій ситуації виникає потреба в ефективних інструментах [4–11], які дозволяють швидко знаходити актуальні вакансії, відповідні навичкам і вимогам кандидатів. Автоматизовані агрегатори вакансій стають важливим елементом у процесі пошуку роботи, оскільки вони значно спрощують та прискорюють цей процес, збираючи вакансії з різних джерел і надаючи користувачам можливість фільтрувати їх за різними параметрами.

Актуальність теми зумовлена зростаючою потребою в автоматизації процесу пошуку вакансій в IT-сфері. Існуючі рішення часто не відповідають вимогам користувачів або ж мають низку обмежень, що знижує їх ефективність. Таким чином, розробка автоматизованого агрегатора вакансій, який враховуватиме сучасні вимоги ринку праці та потреби користувачів, є актуальною та важливою задачею.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розробки програмного забезпечення андроїд застосунку було використано наступні технології: бібліотеки AndroidX та плагінів Kotlin для управління навігацією в додатку; мова програмування Kotlin та фреймворку Koin для управління зв'язками між різними частинами додатку; бібліотеки Jsoup для парсингу HTML, що дозволяє виконувати пошук вакансій на веб-сайтах; архітектурний шаблон MVVM (Model-View-ViewModel), який допомагає відокремлювати бізнес-логіку додатку від його інтерфейсу; бібліотека lottie для додавання високоякісних анімацій, які покращують взаємодію користувача з додатком; androidx.navigation: navigation-fragment-ktx, для забезпечення підтримки навігації в додатку, включаючи управління навігаційними потоками та переходами між екранами; середовище розробки Android Studio.

Розглянемо алгоритм збору та фільтрації вакансій у розробленому застосунку базується на пошуку вакансій на двох різних веб-сайтах (Work.ua та Jooble) з використанням бібліотеки Jsoup для обробки HTML-сторінок.

Крок 1. Ініціалізація пошуку. Пошук вакансій починається з введення користувачем пошукового запиту в інтерфейсі користувача. Після цього застосунок перевіряє, які з джерел пошуку (Work.ua чи Jooble) були вибрані для пошуку вакансій. Залежно від вибраних джерел, застосунок виконує пошук на одному або на обох сайтах.

Крок 2. Пошук на Work.ua.

1. Ініціалізація пошуку. Клас `WorkUASearchUseCase` викликається для виконання пошуку вакансій на Work.ua.

2. Запит до сайту. Метод `getVacancyWorkUalist(query: String)` використовує бібліотеку Jsoup для надсилання HTTP-запиту на Work.ua з пошуковим запитом. Адреса запиту формується шляхом додавання пошукового запиту до базового URL Work.ua (<https://www.work.ua/jobs->).

3. Обробка HTML-сторінки. Після отримання HTML-сторінки з результатами пошуку Jsoup використовується для пошуку елементів з класом `job-link`. Це контейнер, який містить інформацію про вакансії.

4. Збір даних про вакансії. Для кожного елемента `job-link` застосунок витягує:

- Посилання (`link`): URL вакансії.
- Назва вакансії (`title`): назва посади.
- Інформація про компанію (`companyInfo`): назва компанії.
- Локація (`locate`): місце розташування вакансії.
- Опис (`desc`): опис вакансії.

5. Додавання до списку вакансій. Зібрані дані додаються до списку `'listVacancy'` у вигляді об'єктів типу `'VacancyModel'`.

6. Обробка винятків. Якщо під час обробки виникає помилка (наприклад, HTML-елементи не можуть бути знайдені або їх формат неочікуваний), вона обробляється блоком `'catch'`, і збір даних продовжується для наступного елемента.

Крок 3. Пошук на Jooble.

1. Ініціалізація пошуку. Клас `JoobleSearchUseCase` викликається для виконання пошуку вакансій на Jooble.

2. Запит до сайту. Метод `getVacancyJoobleList(query: String)` надсилає HTTP-запит на Jooble з пошуковим запитом. Адреса запиту формується шляхом додавання пошукового запиту до базового URL Jooble (<https://ua.jooble.org/SearchResult?p=3&ukw=>).

3. Обробка HTML-сторінки. Отримана HTML-сторінка аналізується з використанням Jsoup для пошуку елементів з класом `oJoFrF rHG1ci V5WdKE`, які містять інформацію про вакансії.

4. Збір даних про вакансії.

5. Додавання до списку вакансій. Зібрані дані додаються до списку `listVacancy` у вигляді об'єктів типу `'VacancyModel'`.

6. Обробка винятків. Аналогічно до Work.ua, обробка помилок виконується блоком `'catch'`.

Крок 4. Об'єднання результатів та відображення.

1. Об'єднання списків вакансій. Після завершення пошуку на обох сайтах (якщо обидва сайти були вибрані) списки вакансій об'єднуються в єдиний список.

2. Фільтрація результатів. Фільтрація результатів може бути додана в залежності від потреб користувача. Наприклад, результати можуть бути відфільтровані за назвою посади, компанією або місцезнаходженням. Ця фільтрація може бути реалізована в методі `MainViewModel.getVacancyActiveList()`.

3. Відображення результатів. Результати передаються до адаптера `AdapterForVacancy`, який відповідає за відображення списку вакансій в інтерфейсі користувача.

Крок 5. Обробка помилок та відсутності результатів. Якщо пошук на обраному сайті не дає результатів, користувачеві відображається відповідне повідомлення (наприклад, "Немає результатів"). У разі виникнення помилок під час пошуку застосунок обробляє ці помилки і може спробувати повторний пошук або повідомити користувача про проблему.

Покроковий опис роботи застосунку відповідно до блок-схеми (рис. 1):

1. Початок роботи застосунку (Start Application) – застосунок запускається, і починається виконання його логіки.

2. Ініціалізація залежностей (Initialize Dependency Injection) – на цьому етапі здійснюється ініціалізація необхідних залежностей за допомогою механізму Dependency Injection (DI), який дозволяє динамічно впроваджувати об'єкти залежностей.

3. Перевірка інтернет-з'єднання (Check Internet Connection) – застосунок перевіряє наявність інтернет-з'єднання. Це важливо для виконання подальших дій, пов'язаних із пошуком вакансій в Інтернеті. Якщо інтернет-з'єднання відсутнє (No), відображається повідомлення про відсутність інтернету (Show No Internet Message), після чого застосунок завершує роботу (End Application). Якщо інтернет-з'єднання наявне (Yes), застосунок продовжує роботу.

4. Введення пошукового запиту (Input Search Query) – користувач вводить пошуковий запит для пошуку вакансій.

5. Перевірка вибраних джерел (Check Selected Sources) – застосунок перевіряє, які джерела були вибрані для пошуку вакансій (наприклад, Work.ua чи Jooble). Якщо вибрано Work.ua, застосунок здійснює пошук вакансій на сайті Work.ua (Search Work.ua). Якщо вибрано Jooble, застосунок здійснює пошук вакансій на сайті Jooble (Search Jooble).

6. Відображення результатів (Display Results) – після завершення пошуку застосунок відображає результати пошуку вакансій, знайдених на вибраних сайтах.

7. Обробка помилок (Handle Errors) – якщо під час пошуку виникають помилки, застосунок обробляє їх належним чином.

8. Завершення роботи застосунку (End Application) – після відображення результатів або у разі відсутності інтернет-з'єднання застосунок завершує свою роботу.

Діаграма класів, побудована на основі розробленого програмного забезпечення агрегатора пошуку вакансій у IT сфері (див. рис. 2), відображає структуру основних класів, інтерфейсів та їх взаємодію в Android-застосунку для пошуку вакансій.

Основні компоненти діаграми класів:

1. Інтерфейси та їх реалізації:

– Storage (Інтерфейс):

– Визначає методи для роботи з налаштуваннями збереження стану двох параметрів: workUA і jooble. Ці параметри представляють стан (увімкнено чи вимкнено) пошуку на двох різних платформах (Work.ua та Jooble).

– DefaultStorage (Клас):

– Реалізує інтерфейс Storage. Використовує SharedPreferences для збереження та отримання стану параметрів workUA і jooble. Цей клас залежить від 'Context' Android для доступу до налаштувань.

2. Репозиторії:

– Repository (Інтерфейс):

– Визначає методи для роботи з станами пошуку вакансій (getWorkUAState, getJoobleState, setWorkUAState, setJoobleState).

- DefaultRepository (Клас):
- Реалізує інтерфейс Repository. Цей клас взаємодіє з Storage для отримання і встановлення стану параметрів пошуку на різних платформах.

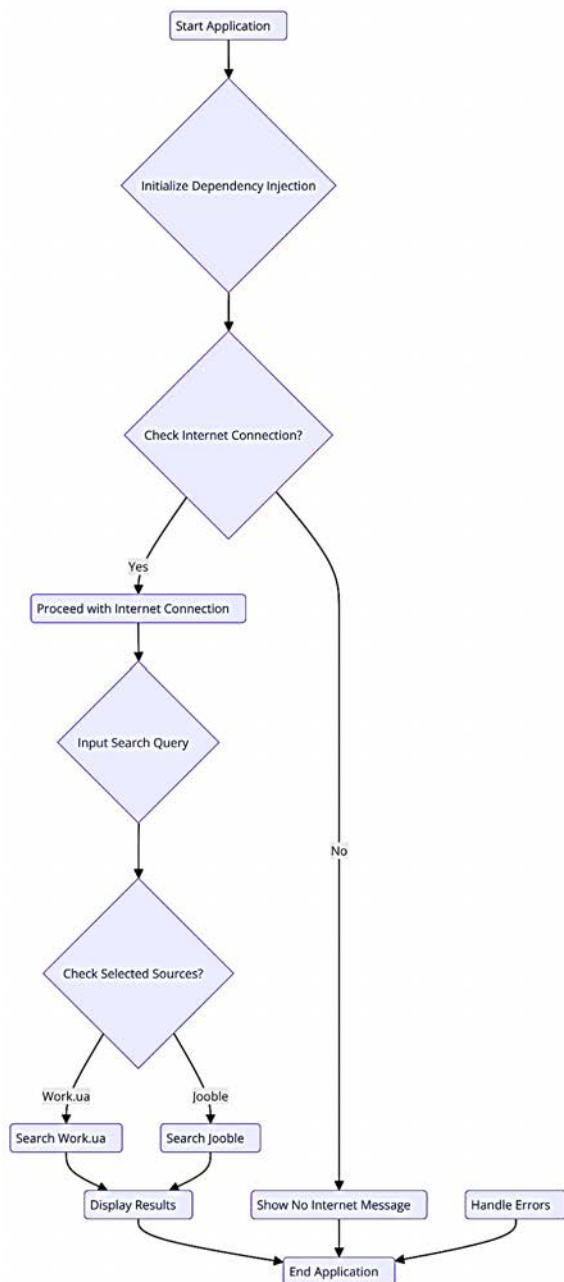


Рис. 1. Блок-схема ПЗ агрегатора вакансій

3. Репозиторії для пошуку:
 - SearchRepository (Інтерфейс):
 - Визначає методи для отримання списків вакансій з різних джерел (getVacancyWorkUalist, getVacancyJoobleUalist).
 - DefaultSearchRepository (Клас):
 - Реалізує інтерфейс SearchRepository. Використовує два класи пошуку вакансій WorkUASearchUseCase та JoobleSearchUseCase для отримання списків вакансій з Work.ua та Jooble відповідно.
 4. Класи пошукових запитів:
 - WorkUASearchUseCase (Клас):
 - Відповідає за пошук вакансій на Work.ua. Використовує бібліотеку Jsoup для обробки HTML-сторінок і отримання вакансій.
 - JoobleSearchUseCase (Клас):
 - Відповідає за пошук вакансій на Jooble. Також використовує Jsoup для обробки HTML-сторінок і отримання вакансій.
 5. Моделі даних:
 - VacancyModel (Клас):
 - Представляє модель вакансії з такими атрибутами, як назва (title), інформація про компанію (companyInfo), місцезнаходження (locate), опис (desc), і посилання (link).
 6. Використання Інтернету:
 - InternetListenerUseCase (Клас):
 - Відповідає за перевірку стану підключення до Інтернету і створення/реєстрацію слухача мережі.
 7. ViewModels:
 - MainViewModel (Клас):
 - Координує запити пошуку вакансій і обробляє отримані результати. Використовує SearchRepository для отримання списків вакансій.
 - InternetViewModel (Клас):
 - Відповідає за перевірку стану Інтернету і управління підключенням.
 8. Адаптери та Фрагменти:
 - AdapterForVacancy (Клас):
 - Адаптер для відображення списку вакансій у RecyclerView.
 - SearchFragment (Клас):
 - Фрагмент для управління пошуковим інтерфейсом користувача, обробляє введення користувача та відображає результати пошуку.
- Загальна структура і взаємодія.
- Класи DefaultRepository та DefaultSearchRepository реалізують відповідні інтерфейси для доступу до даних і пошуку вакансій.
 - DefaultSearchRepository використовує клас WorkUASearchUseCase для пошуку вакансій на Work.ua і JoobleSearchUseCase для Jooble.
 - MainViewModel і InternetViewModel керують бізнес-логікою та станом підключення до Інтернету, а також взаємодіють з SearchFragment для відображення результатів.
 - Класи AdapterForVacancy і SearchFragment взаємодіють між собою для відображення списку вакансій та обробки введення користувача.
- Ця діаграма класів демонструє основні компоненти застосунку, їх взаємозв'язки та залежності, що дозволяє краще зрозуміти його архітектуру та логіку роботи.
-

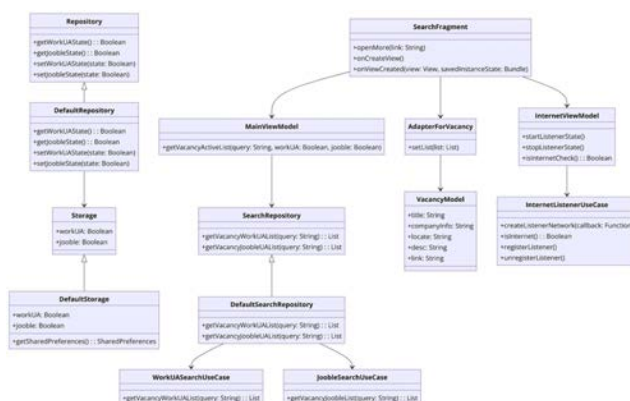


Рис. 2. Діаграма класів ПЗ агрегатора вакансій

Далі розглянемо функціональні можливості застосунку (рис. 3). У верхній частині екрану розміщено заголовок «Пошук пропозиції». Нижче є текстове поле для введення бажаної вакансії та підказка для користувача: «Введи вакансію, яку хочеш знайти». Далі необхідно обрати, на якому сайті знайти ці пропозиції. Після аналізу веб сайтів пошуку роботи, отримуємо перелік актуальних вакансій відповідно до запиту.

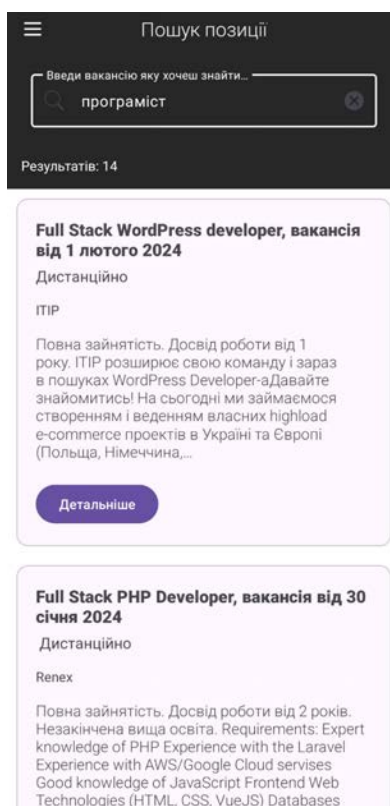


Рис. 3. Актуальні вакансії відповідно до запиту

Серед функціональних можливостей застосунку реалізовані:

1. пошук роботи – користувачі можуть вводити специфічні запити для пошуку роботи, а додаток автоматично парсить відповідні веб-сайти, надаючи актуальні вакансії;

2. парсинг веб-сайтів – з використанням бібліотеки jsoup додаток ефективно аналізує веб-сторінки, витягуючи необхідну інформацію про вакансії за заданими критеріями;

3. керування залежностями – koін спрощує управління залежностями в додатку, забезпечуючи чистоту коду та легкість розширення проекту.

Висновки. Розроблений автоматизований агрегатор вакансій для ІТ-сфери довів свою ефективність у вирішенні завдань пошуку роботи. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як Kotlin, Koin, Jsoup, архітектурного шаблону MVVM та бібліотеки Lottie, вдалося створити функціональний додаток із зручним інтерфейсом і широкими можливостями.

Подальша робота над проектом сприятиме розширенню його функціональних можливостей, підвищенню точності пошуку та задоволенню потреб користувачів, які шукають роботу в умовах сучасного динамічного ринку праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Слабінога, М. О., Чабан, С. В. Розробка веб-додатків в контексті оптимізації їх швидкодії. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022, (3), 63-69. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7>

2. Антіпова, К. О., Раленко, В. С. Використання штучного інтелекту в розробці Android застосунків. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2024, (2), 100-105. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.2.9>

3. Ольховська, О. В., Олексійчук, Ю. Ф., Кошова, О. П., Черненко, О. О., Бойко, О. А. Розробка telegram чат-бота для надання технічної підтримки у галузі туристичних послуг. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2024, (6), 35-44. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6>

4. Sadhu S. Building Android Apps with Kotlin: Start Building Amazing Applications. Apress, 2020. 350 p.

5. Schildt H. Java: The Complete Reference (11th Edition). McGraw-Hill Education, 2018. 1248 p.

6. Tsang S., Friesen J. Android Recipes: A Problem-Solution Approach. Apress, 2020. 800 p.

7. Nagy G., Borba P. Modern Android Development with Kotlin: Effective Techniques for Building Robust and Maintainable Apps. Manning Publications, 2021. 320 p.

8. Developer workflow basics [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://developer.android.com/studio/workflow> – Назва з екрану.

9. Dirk Gavor. What Is Lottie and How to Use It for Animations [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://www.sliderrevolution.com/design/what-is-lottie/> – Назва з екрану.

10. How Job Aggregators Are Changing The Job Market [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://wpjobmanager.com/2023/09/25/job-board-aggregator/> – Назва з екрану.

11. How To Build A Job Aggregator [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://niceboard.co/learn/building/how-to-build-a-job-aggregator> – Назва з екрану.

REFERENCES:

1. Slabinoha, M. O., Chaban, S. V. (2022) Rozrobka veb-dodatkov v konteksti optymizatsii yikh shvydkodii [Development of web applications in the context

of optimizing their performance]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences]*, (3), 63-69. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.7> [in Ukrainian].

2. Antipova, K. O., Ralenko, V. S. (2024) Vykorystannia shtuchnoho intelektu v rozrobsi Android zastosunkiv [The use of artificial intelligence in the development of Android applications]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences]*, (2), 100-105. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.2.9> [in Ukrainian].

3. Olkhovska, O. V., Oleksiichuk, Yu. F., Koshova, O. P., Chernenko, O. O., Boiko, O. A. (2024) Rozrobka telegram chat-bota dlia nadannia tekhnichnoi pidtrymky u haluzi turystychnykh posluh [Development of a telegram chatbot for providing technical support in the field of tourist services]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical sciences]*, (6), 35-44. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6> [in Ukrainian].

4. Sadhu S. (2020) Building Android Apps with Kotlin: Start Building Amazing Applications. Apress, 350 p. [in English].

5. Schildt H. (2018) Java: The Complete Reference (11th Edition). McGraw-Hill Education, 1248 p. [in English].

6. Tsang S., Friesen J. (2020) Android Recipes: A Problem-Solution Approach. Apress, 800 p. [in English].

7. Nagy G., Borba P. (2021) Modern Android Development with Kotlin: Effective Techniques for Building Robust and Maintainable Apps. Manning Publications, 320 p. [in English].

8. Developer workflow basics [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://developer.android.com/studio/workflow> – Назва з екрану [in English].

9. Dirk Gavor. What Is Lottie and How to Use It for Animations [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://www.sliderrevolution.com/design/what-is-lottie/> – Назва з екрану [in English].

10. How Job Aggregators Are Changing The Job Market [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://wpjobmanager.com/2023/09/25/job-board-aggregator/> – Назва з екрану [in English].

11. How To Build A Job Aggregator [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://niceboard.co/learn/building/how-to-build-a-job-aggregator> – Назва з екрану [in English].

УДК 004.048+004.85

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.9>

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РЕКОМЕНДАЦІЙ КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ШКІРОЮ

Парфененко Ю. В. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій Сумського державного університету
ORCID ID: 0000-0003-4377-5132

Пугач О. А. – студентка магістратури факультету електроніки
та інформаційних технологій Сумського державного університету
ORCID ID: 0009-0004-0097-0311

Зростання асортименту косметичних засобів по догляду за шкірою з активними компонентами, а також можливість їх придбання без призначення лікаря-косметолога, спричиняє проблему появи негативних наслідків їх використання. Підбір косметологічних засобів є завданням, яке може бути вирішене із застосуванням методів машинного навчання, таких як нейронні мережі. Стаття присвячена питанню удосконалення інформаційного забезпечення підбору косметологічних засобів шляхом розроблення рекомендаційної інформаційної системи. Проведено дослідження предметної області і в якості моделі надання рекомендацій обрано нейронну мережу типу FNN. Побудовано моделі нейронних мереж для підбору найбільш підходящого компоненту косметологічного засобу залежно від типу шкіри та проблеми, а також рекомендації косметологічних засобів. Результати обчислювальних експериментів показали високу точність моделей понад 90%. Це свідчить про те, що впровадження машинного навчання в процес формування рекомендацій дозволяє якісно і точно підібрати потрібний косметологічний засіб. Розроблено інтегровану інформаційну систему надання рекомендацій, яка складається із клієнтського мобільного інтерфейсу, а також програмних модулів надання рекомендацій, написаних мовою Python. Взаємодія між компонентами інформаційної системи здійснюється через API інтерфейс. Користувач у мобільному додатку може внести інформацію про тип шкіри, дерматологічні проблеми та одержати відповідні рекомендації по догляду за шкірою. Використання розробленої інформаційної системи при підборі доглядової косметики дозволить уникнути використання засобів із несумісними компонентами і уникнути негативних наслідків для здоров'я шкіри.

Ключові слова: інформаційна система, рекомендаційна система, нейронна мережа, класифікація, машинне навчання.

Parfenenko Yu. V., Puhach O. A. Information system for recommendations of cosmetic skin care products

The growth of the range of skin care cosmetics with active components, as well as the possibility of their purchase without the appointment of a cosmetologist, causes the problem of the appearance of negative consequences of their use. The selection of cosmetic products is a task that can be solved using machine learning methods, such as neural networks. The article is devoted to the issue of improving the information support for the selection of cosmetic products by developing a recommendation information system. A study of the subject area was conducted and a FNN neural network of was chosen as a model for providing recommendations. Neural network models were built to select the most suitable component of a cosmetic product depending on the skin type and problem, as well as recommendations for cosmetic products. The results of computational experiments showed a high accuracy of the models of over 90%. This indicates that the introduction of machine learning into the process of forming recommendations allows for a high-quality and accurate selection of the desired cosmetic product. An integrated information system for providing recommendations has been developed, which consists of a client mobile interface, as well as software modules for providing recommendations written in Python. The interaction between the components of the information system is carried out through the API interface. The user in the mobile application can enter information about skin type, dermatological problems and receive appropriate recommendations for skin care. Using the developed information system when selecting care cosmetics will allow to avoid the use of products with incompatible components and avoid negative consequences for skin health.

Key words: information system, recommendation system, neural network, classification, machine learning.

Вступ. Сьогодні у торговельній мережі представлено широкий асортимент доглядових засобів, таких як креми, сироватки тощо. Різноманітної продукції стало дуже багато після популяризації саме азіатського ринку, а через доступність інформації, компанії використовують агресивніші формули і компоненти, ніж раніше. Більшість косметичних засобів є доступною у роздрібній мережі і не потребує рецепту для придбання. Тому зараз постає питання, як підібрати якісний, косметичний засіб і, як правильно його використовувати, щоб не травмувати свою шкіру через те, що окремі компоненти не підходять конкретному типу шкіри або є несумісними для одночасного використання. Впровадження машинного навчання в процес формування рекомендацій дозволяє якісно і точно підібрати потрібний косметичний засіб, позбавляючи користувача необхідності аналізувати велику кількість інформації про склад продукції, сумісність компонентів тощо. Наразі існує багато моделей машинного навчання, які можна дослідити і обрати найточнішу у прогнозуванні модель саме для рекомендаційної системи. Машинне навчання використовується для якісної і швидкої обробки великого обсягу даних. Базуючись на минулих вподобаннях користувача, а також його потребах, інформаційна система формує набір продуктів, який може зацікавити для придбання.

Постановка проблеми. Предметом дослідження є застосування машинного навчання у інформаційній системі надання рекомендацій, яке за допомогою обробки великої кількості даних може спрогнозувати реакцію шкіри на певний косметичний інгредієнт або ж підібрати потрібний косметичний засіб базуючись на стані шкіри. Наукова проблема полягає в удосконаленні інформаційного забезпечення надання рекомендацій по догляду за шкірою за рахунок розробленої моделі надання рекомендацій та її реалізації в інформаційній системі.

Інформаційна система повинна надавати рекомендації косметичних засобів, а також підказки реакції шкіри на певні компоненти з використанням методології машинного навчання. Надання рекомендацій має здійснюватися нейронною мережею із використанням попередньо підготовленого набору вхідних даних. Набір даних для модуля формування рекомендацій має складатись з інформації про косметичний засіб (назва, склад, тип шкіри) та компонент (назва, реакція шкіри негативна і позитивна, час використання компоненту). Реалізувати нейронну мережу для задач класифікації можна за допомогою бібліотеки TensorFlow та Keras на мові Python.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вчені Janiesch C., Zszech P., Heinrich K. висвітлюють сучасний стан машинного навчання та глибокого навчання [1]. У статті [2] пропонується огляд основних алгоритмів машинного навчання. Робота могла б бути дуже корисною для вибору відповідного алгоритму машинного навчання для системи рекомендацій, якби не обмежена кількість розглянутих алгоритмів.

Ідею розробки інформаційної системи надання рекомендацій має робота, описана у статті [3]. В ній описується розробка системи рекомендацій, яка допомагає споживачам легко вибрати косметику, яка відповідає їхнім уподобанням. У роботі [4] авторами скомбіновано ряд технологій, які разом створюють інтелектуальну платформу, що аналізує риси обличчя та здоров'я шкіри, використовуючи комп'ютерне зір і машинне навчання для надання індивідуальних рекомендацій щодо догляду за шкірою [4]. Рекомендаційна система косметики для допомоги користувачам приймати обґрунтовані рішення при виборі продуктів, які відповідають їхнім конкретним потребам, описана у роботі [5]. Один із методів фільтрації використовується і у статті [6], де автори представили новий підхід до

рекомендацій щодо продукту, який поєднує три ключові методи: алгоритми класифікації, спільну фільтрацію на основі користувачів і косинусну міру подібності. У статті [7] представлено систему, яка використовує глибоке навчання та OpenCV для класифікації шкіри обличчя як нормальної або жирної, і надає індивідуальні рекомендації щодо догляду за шкірою на основі класифікації.

Нейронні мережі типу CNN використовуються для вирішень проблеми рекомендації косметичних продуктів на основі індивідуальних типів шкіри. У статті [9] CNN використовується для прогнозування відповідних продуктів шляхом аналізу типів шкіри, включаючи суху, жирну та нормальну шкіру. Подібним чином у статті [10] використовується алгоритм CNN, навчений на наборі даних про різні типи шкіри, щоб надавати індивідуальні рекомендації щодо засобів догляду за шкірою. Веборієнтовану інформаційну систему надання рекомендацій по догляду за шкірою, яка базується на моделі нейронної мережі типу CNN, представлено в роботі [11].

За темою догляду за шкірою було написано велику кількість досліджень та статей, що свідчить про актуальність проблеми. Але більша частина робіт заснована лише на аналізі стану шкіри та її класифікації. Проблема ж, яку треба вирішити, полягає у аналізі потреб доглядових засобів для певного типу шкіри та, як наслідок, підбору косметичних засобів.

Методологія надання рекомендацій в інформаційній системі з використанням нейронних мереж. У даній роботі було використано Feedforward neural network (FNN) – модель нейронних мереж, яка складається з шарів, проходження яких відбувається лише в одному напрямку, тобто немає зворотного напрямку. Її архітектура побудована таким чином, що між вхідним і вихідним шаром є приховані шари, які містять нейрони, їх кількість, як і кількість самих шарів зазначаються відповідно до якості даних, бажаної точності.. Завдяки можливості оптимізації моделі різними типами регуляції та кількості шарів є можливість отримати високу точність на створеному наборі даних. Набір даних для навчання нейронної мережі надання рекомендацій було сформовано з результатів дослідження, представленого у роботі [12].

Архітектура нейронної мережі надання рекомендацій доглядових засобів представлена на рис. 1.

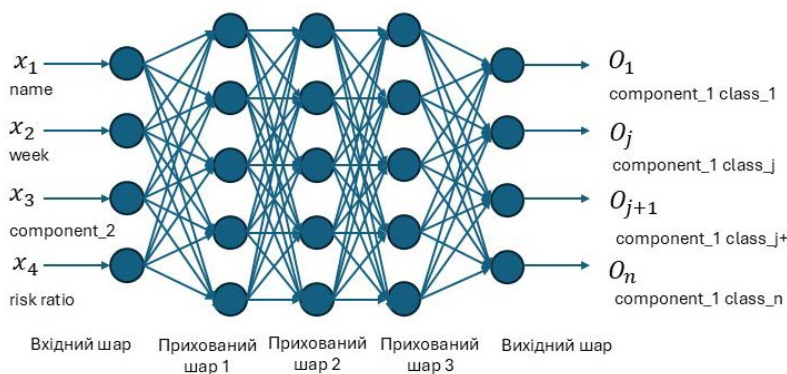


Рис. 1. Схема архітектури n-шарової FNN моделі

Значення вхідного шару нейронної мережі математично можна представити у вигляді множини вхідних параметрів:

$$X = [x1, x2, x3, x4] \quad (1)$$

де:

$x1$ = Name – назва ефекту.

$x2$ = Week – тиждень використання.

$x2$ = Component_2 – категорична ознака, закодована як числове значення.

$x3$ = Risk Ratio – коефіцієнт ризику.

Вихідне значення кожного прихованого шару обчислюється як:

$$z_j = \sum_{i=1}^{n_l-1} w_{ij}^{(l)} \cdot h_j^{(l)} + b_j^{(l)}, n = 1, 2, \dots, 520 \quad (2)$$

де $h_j^{(l)}$ – вихід j -го нейрона на l -му шарі, $w_{ij}^{(l)}$ – вага зв'язку між j -м нейроном попереднього шару $l - 1$ та j -им нейроном поточного шару, $b_j^{(l)}$ – зсув (bias) для j -го нейрона l -го шару.

$$h_j^{(l)} = ReLU(z_j), j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де $ReLU(z) = \max(0, z)$ – активаційна функція, $h_j^{(l)}$ – вихід j -го нейрона на l -му шарі.

На кожному прихованому шарі виконується Dropout з ймовірністю $p = 0.1$. Функція вимикає частину нейронів під час навчання, щоб запобігати перенавчанню моделі. У результаті одержуємо формулу, яка змінює значення, так, щоб сума даних не змінювалась після встановлення 0-го значення деяким нейронам:

$$\tilde{h}_j^{(l)} = \begin{cases} 0, \text{ з ймовірністю } p, \\ \frac{h_j^{(l)}}{1-p}, \text{ з ймовірністю } 1 - p, \end{cases} \quad (4)$$

де $h_j^{(l)}$ – вихід j -го нейрона на l -му шарі, p – ймовірність встановлення 0-го значення нейронам.

Значення вихідного шару обчислюються як:

$$O_j = Softmax(o_j) = \frac{\exp(z_j)}{(\sum_{k=1}^n \exp(z_k))}, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

де z_j – вхідне зважене значення нейрона j -го класу у вихідному шарі, O_j – ймовірність, що приклад належить до j -го класу Component_1.

Нейронна мережа має надавати два результати для двох задач. Перша задача – це надання найбільш підходящого компоненту, а друга – це ефект, який буде отримано від використання компоненту. Обидва результати формуються внаслідок виконання задачі класифікації. Для отримання двох видів рекомендацій є потреба у створенні двох схожих моделей нейронних мереж.

Модель для надання рекомендації компонентів має п'ять шарів:

- вхідний шар (Name, Week, Component_2, Risk_Ratio);
- три прихованих шари, кількість яких було обрано після експерименту для оптимізації навчання нейронної мережі для досягнення більшої точності;
- вихідний шар (Component_1).

Вхідний шар приймає вектор набору характеристик для визначення ймовірності для класів Component_1. Кількість нейронів у вхідному шарі відповідає кількості характеристик – стовпців, тобто модель має чотири нейрони, так як передається лише Name, Week, Component_2 та Risk_Ratio.

Приховані шари мають кількість нейронів зазначену, як найкращу, а саме – 520, після експерименту з внесенням різних параметрів для навчання моделі.

Вихідний шар, який складається з унікальних значень `Component_1` має, кількість нейронів, яка дорівнює кількості цих значень та функцію активації `softmax`, так як виконується завдання багатокласової класифікації.

Модель для надання ефектів, які впливають на стан шкіри, відрізняється даними для вхідного шару і вихідного. У вхідний шар замість `Name` має входити `Component_1`, а у вихідному шарі замість `Component_1` має бути `Name`.

Для створення моделей надання рекомендацій для досягнення найбільшої точності було проведено обчислювальні експерименти, які полягали у зміні кількості нейронів прихованого шару, кількості самих прихованих шарів, значення ймовірності у функції `dropout` та кількості епох.

Порівняння впливу кількості нейронів на точність класифікації зображено на рис. 2.

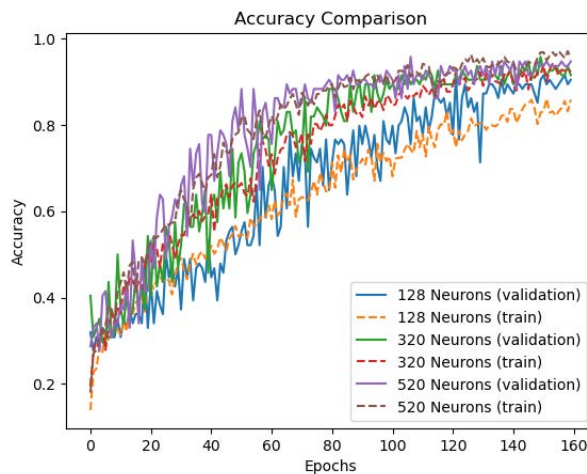


Рис. 2. Графік залежності точності моделі нейронної мережі від кількості нейронів

Проведено аналіз точності моделей для кількості нейронів: 128, 320 та 520. У результаті найбільша кількість нейронів дає найбільшу точність.

Проведено експерименти із визначення точності прогнозування моделі залежно від значення ймовірності у функції `dropout` З результатів можна з точністю сказати, що `dropout` зі значенням 0,1 надає кращий результат.

На рис. 3 зображено залежність точності моделі нейронної мережі від кількості епох.

У результаті проведених обчислювальних експериментів для навчання моделей нейронних мереж було обрано такі значення: кількість нейронів для кожного прихованого шару = 520, кількість прихованих шарів = 3, значення ймовірності у функції `dropout` = 0,1, кількість епох = 160. Точність моделі з використаними параметрами – 0.9468, що є високим значенням для прогнозування.

Інформаційна система надання рекомендацій по догляду за шкірою. Інформаційна система складається з трьох компонентів: користувацький мобільний інтерфейс у Android застосунку, моделі машинного навчання, реалізовані у вигляді програмних модулів мовою Python і розміщені на Python сервері. В якості системи управління базами даних використано Firestore.

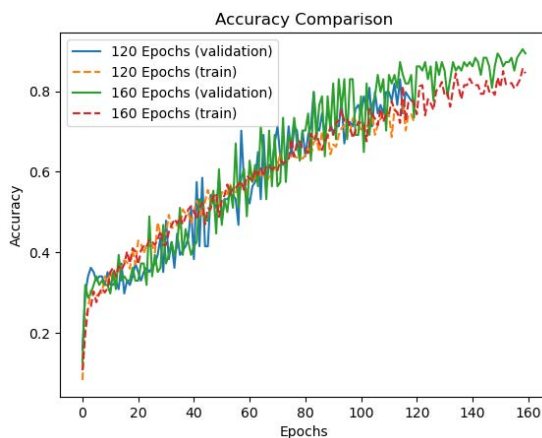


Рис. 3. Графік залежності точності моделі нейронної мережі від кількості epoch

На рис. 4 зображено архітектуру інформаційної системи надання рекомендацій.

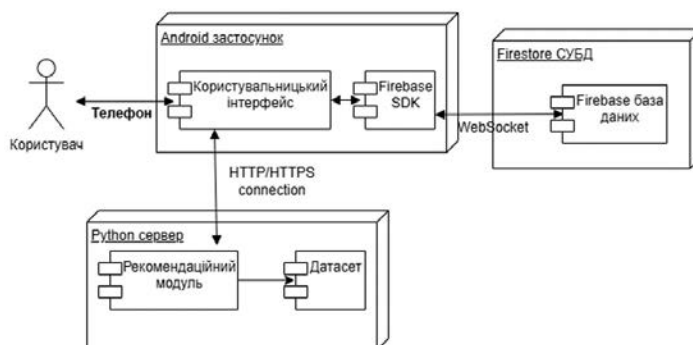


Рис. 4. Архітектура інформаційної системи надання рекомендацій по догляду за шкірою

Передача даних між Android застосунком та Python сервером відбувається за допомогою https запитів, які реалізовані за допомогою Restful API архітектури. Зв'язок з базою даних відбувається за допомогою Firebase SDK з набором інструментів для роботи з базою даних в реальному часі через Websocket. Схема взаємодії Android застосунку з модулем для надання рекомендацій зображено на рис. 5.

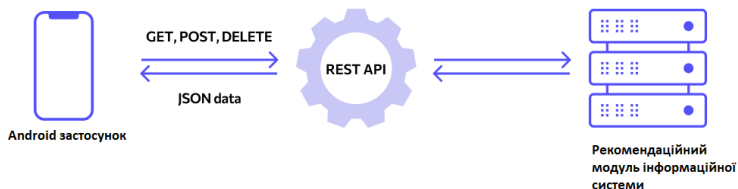


Рис. 5. Схема взаємодії Android застосунку з модулем для надання рекомендацій за допомогою Rest API

Для легкого та швидкого доступу до серверної частини використовувалась Restful API архітектура. Тож у серверній частині було використано flask для побудови запитів. Ця частина інформаційної системи була огорнута контейнером Docker для максимально легкого розгортання на будь-яких платформах. На стороні Android застосунку було підключено бібліотеку retrofit, яка надає можливість доєднатись до API сервісів.

Інтерфейс мобільного додатку показано на рис. 6. На головному меню можна побачити сьогоднішню дату та додати нотатку про використання продукту за цей день, також додати симптоми. Також з головного екрану викликається меню, за яким можна перейти до сторінок продуктів, типу шкіри, питань, а також вийти з додатку.

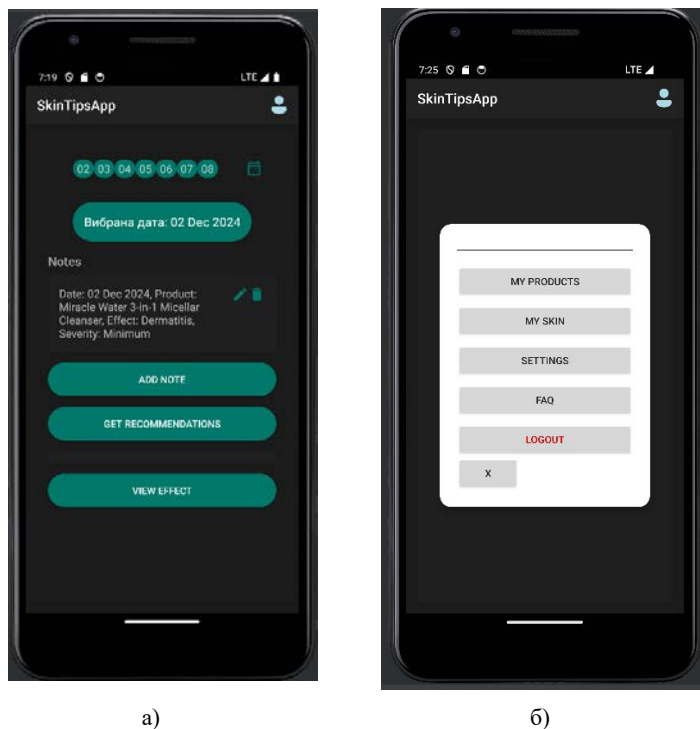


Рис. 6. Головний екран мобільного додатку та меню

У разі, якщо потрібно додати нотатки за інші дні, є кнопка календаря, за яким можна обрати день для внесення інформації.

Меню, в якому користувач може вказати косметичних засіб, відповідно до проблеми шкіри, на вирішення якої він націлений, показано на рис. 7а. Екран відображення типу шкіри користувача із можливістю редагування даних про тип шкіри, а також можливі наявні шкірні захворювання, такі як акне, зображено на рис. 7б.

Комунікація з Android застосунком здійснюється через API запити. Файл models.py містить моделі для навчання рекомендаційної системи, які потім використовуються у функціях для отримання рекомендацій.

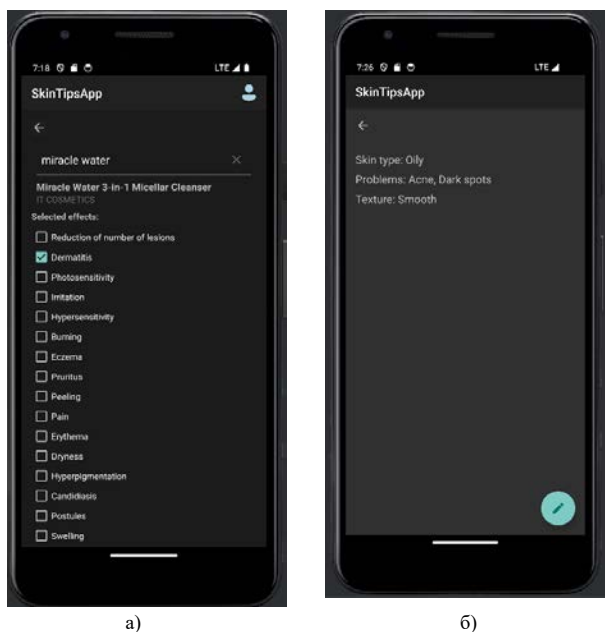


Рис. 7. Екран встановлення типу шкіри

У файлі func.py функції рекомендації компонентів та косметичних засобів. Функція рекомендації компонентів приймає вектор значень даних про шкіру, наприклад, тип жирний, акне, використовувався продукт з ретинолом протягом чотирьох тижнів. На виході функції маємо рекомендацію щодо впливу використаного продукту на стан шкіри, наприклад, покращення з висипами або помітні побічні ефекти у вигляді запалення шкіри. Повертає функція набір значень, а ось формування рекомендації у якості повного речення відбувається у функції `process_effect_info`.

На рис. 8 зображено екран Android застосунку зі сформованим впливом на шкіру.

Для того, щоб отримати рекомендацію косметичного засобу, при натисканні на кнопку «Get recommendations» викликається функція `filter_product` з внесеними даними про тип шкіри. Базуючись на інформації про тип шкіри, всередині функції буде викликано функцію компонентів для підбору найкращих компонентів, а вже потім базуючись ще й на підібраних компонентах буде сформовано рекомендації. На виході матимемо список з п'яти найкращих косметичних засобів. Відображення п'яти рекомендованих косметичних засобів можна побачити на рис. 8б.

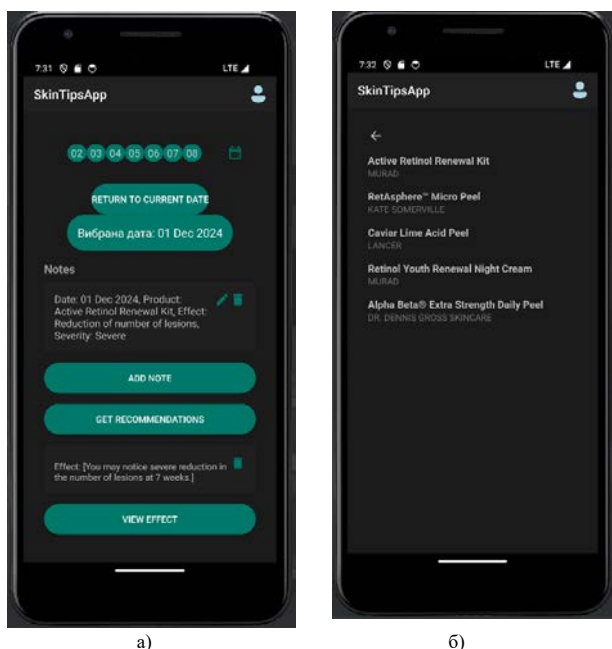


Рис. 8. Екрани мобільного додатку із визначенням впливу засобу на шкіру та рекомендацією косметологічних засобів

Висновки. У результаті огляду методів надання рекомендацій було вирішено застосувати FNN нейронні мережі прямого зв'язку для розробки рекомендаційного модулю інформаційної системи через можливість регуляції параметрами навчання мережі, що призводить до підвищення точності моделі. Для підвищення точності моделі надання рекомендацій було проведено експерименти з підбором кращих параметрів для моделі, за рахунок чого досягнуто точність моделі нейронної мережі 0,94.

Програмно реалізовано інформаційну систему з модулем надання рекомендацій та клієнтським інтерфейсом у Android застосунку. Інтеграція модулю надання рекомендацій на Python проведена за рахунок використання API. Для зберігання даних користувача використано Firebase сховище даних, яке інтегрується у мобільний застосунок, написаний мовою Kotlin. Інформаційна система за результатами тестування відповідає всім функціональним вимогам і може використовуватися як косметологами, так і користувачами при самостійному підборі косметики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Janiesch, C., Zschech, P. & Heinrich, K. Machine learning and deep learning. *Electron Markets*, 2021. 31, 685–695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>.
2. Ling Q. Machine learning algorithms review. *Applied and Computational Engineering*, 2023. 4(1):91-98. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/4/20230355>.
3. Yoon, J., & Joung, S. A Big Data Based Cosmetic Recommendation Algorithm. *Journal of System and Management Sciences*, 2020. 10, 2, 40-52. <https://doi.org/10.33168/JSMS.2020.0203>.
4. Li, H., Liao, Y., Huang, Y., & Cheng, P. Based on machine learning for personalized skin care products recommendation engine. *2020 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, 2020. 460-462. <https://doi.org/10.1109/IS3C50286.2020.00125>
5. Gyeongun Lee, Xunfei Jiang, Natalie Parde. A Content-based Skincare Product Recommendation System. *2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. 2023. <https://doi.org/10.1109/ICMLA58977.2023.00308>.
6. Al-Hagery, M.A. A novel Based-Approach Composed of Clustering Algorithm & Cosine Similarity for Products Recommendation. *International Journal of Education and Information Technologies*, 2020. 14:133-141. <https://doi.org/10.46300/9109.2020.14.16>.
7. Sunnam, S., & Obulesh, A. Classification Facial Skin and Treatment Suggestions for Good Skin Using Deep Learning with Region of Interest (ROI) Patches. *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering*, 2022. 28-34.
8. Hemavathi, R. s, Jayasakthi, S, K., Latha, S. A, K., & Gopinath, N. Cosmetic Product Selection Using Machine Learning. *2022 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT53935.2022.9767972>
9. Abishek, R., Ajeyan, T.R., Aravinth, N., Gokul, M., & Dhiyanesh, B. Advanced Skin Category Prediction System for Cosmetic Suggestion using Deep Convolution Neural Network. *2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 2023. 627-631. <https://doi.org/10.1109/ICICCS56967.2023.10142521>.
10. Bhuvana, S., S, B.G., M, S.S., & V, S.J. Cosmetic Suggestion System Using Convolution Neural Network. *2022 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*, 2022. 1084-1089.
11. Hanchinal, T.K., Bhavani, V.D., & Mindolli, V.B. Intelligent Beauty Product Recommendation Using Deep Learning. *2024 1st International Conference on Cognitive, Green and Ubiquitous Computing (IC-CGU)*, 2024. 1-5.
12. Reynolds, Rachel V. et al. Supplementary Material for: Guidelines of care for the management of acne vulgaris. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2024. 90, 5. [https://www.jaad.org/article/S0190-9622\(23\)03389-3/fulltext](https://www.jaad.org/article/S0190-9622(23)03389-3/fulltext)

REFERENCES:

1. Janiesch, C., Zschech, P. & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electron Markets*, 31, 685–695 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>.
2. Ling Q. (2023). Machine learning algorithms review. *Applied and Computational Engineering*, 4(1):91-98. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/4/20230355>.
3. Yoon, J., & Joung, S. (2020). A Big Data Based Cosmetic Recommendation Algorithm. *Journal of System and Management Sciences*, 10, 2, 40-52. <https://doi.org/10.33168/JSMS.2020.0203>.
4. Li, H., Liao, Y., Huang, Y., & Cheng, P. (2020). Based on machine learning for personalized skin care products recommendation engine. *2020 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, 460-462. <https://doi.org/10.1109/IS3C50286.2020.00125>

5. Gyeongun Lee, Xunfei Jiang, Natalie Parde. (2023). A Content-based Skincare Product Recommendation System. *2023 International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. <https://doi.org/10.1109/ICMLA58977.2023.00308>.
 6. Al-Hagery, M.A. (2020). A novel Based-Approach Composed of Clustering Algorithm & Cosine Similarity for Products Recommendation. *International Journal of Education and Information Technologies*, 14:133-141. <https://doi.org/10.46300/9109.2020.14.16>.
 7. Sunnam, S., & Obulesh, A. (2022). Classification Facial Skin and Treatment Suggestions for Good Skin Using Deep Learning with Region of Interest (ROI) Patches. *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering*, 28-34.
 8. Hemavathi, R. s, Jayasakthi, S, K., Latha, S. A, K., & Gopinath, N. (2022). Cosmetic Product Selection Using Machine Learning. *2022 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT53935.2022.9767972>
 9. Abishek, R., Ajeyan, T.R., Aravinth, N., Gokul, M., & Dhiyanesh, B. (2023). Advanced Skin Category Prediction System for Cosmetic Suggestion using Deep Convolution Neural Network. *2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 627-631. <https://doi.org/10.1109/ICICCS56967.2023.10142521>.
 10. Bhuvana, S., S, B.G., M, S.S., & V, S.J. (2022). Cosmetic Suggestion System Using Convolution Neural Network. *2022 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*, 1084-1089.
 11. Hanchinal, T.K., Bhavani, V.D., & Mindolli, V.B. (2024). Intelligent Beauty Product Recommendation Using Deep Learning. *2024 1st International Conference on Cognitive, Green and Ubiquitous Computing (IC-CGU)*, 1-5.
 12. Reynolds, Rachel V. et al. (2024). Supplementary Material for: Guidelines of care for the management of acne vulgaris. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 90, 5. [https://www.jaad.org/article/S0190-9622\(23\)03389-3/fulltext](https://www.jaad.org/article/S0190-9622(23)03389-3/fulltext)
-

УДК 621.396:681.3:519.6.

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.10>

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФРАЧЕРВОНОГО СИГНАЛУ В СИСТЕМАХ ІМІТАЦІЇ СТРІЛЕЦЬКОГО БОЮ

Сгадов С. О. – старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-7994-6530

Автор досліджує математичні методи моделювання каналів зв'язку, що використовують інфрачервону (ІЧ) технологію, з метою підвищення надійності та ефективності передачі даних у системах Lasertag. Інфрачервоні канали зв'язку представляють собою специфічний клас бездротових комунікацій, що знаходять застосування в різних сферах, включаючи системи імітації стрілецького бою. Автор описує основні математичні моделі, такі як модель ідеального каналу, де сигнал повністю збігається з переданим, та модель каналу з адитивним гаусовим білим шумом (AWGN), яка враховує тепловий шум у системах зв'язку. Розглянуті також моделі Рейлі та Річі для опису умов передачі сигналу з урахуванням наявності прямої видимості (LOS) та без неї. У статті наведені математична модель передачі пакетів у системі Lasertag та результати чисельних експериментів, проведених за допомогою гвинтівки з ІЧ-світлодіодом TSAL6100. Експерименти проводилися при різних потужностях модуляції світлодіода для визначення зони впевненого прийому сигналу. Результати показали, що зона впевненого прийому зростає зі збільшенням потужності: при 100 мВт вона становила до 50 метрів, при 200 мВт – до 65 метрів, а при 900 мВт – до 125 метрів. Це свідчить про те, що підвищення потужності модуляції значно покращує якість зв'язку на великих відстанях. Крім того, автор підкреслює важливість врахування зовнішніх перешкод, таких як сонячне світло та флуоресцентні лампи, які можуть погіршити якість зв'язку. У статті також обговорюється вплив кута розходження променів на дальність зв'язку та стійкість до перешкод. Висновки дослідження значно корисні для подальшої оптимізації систем імітації стрілецького бою і вдосконалення технологій передачі даних в умовах реального бою. Застосування математичних моделей дозволяє не лише покращити ефективність передачі даних, але й забезпечити надійність комунікацій у складних умовах імітації бойових дій.

Ключові слова: Lasertag, математична модель, інфрачервона связь.

Sgadov S. A. Modeling of infrared signal transmission in firearms combat simulation systems

The author investigates mathematical methods for modeling communication channels using infrared (IR) technology to improve the reliability and efficiency of data transmission in military systems. Infrared communication channels are a specific class of wireless communications that find applications in various fields, including small arms fire simulation systems. The author describes the main mathematical models, such as the ideal channel model, where the signal completely coincides with the transmitted one, and the additive Gaussian white noise (AWGN) channel model, which takes into account thermal noise in communication systems. The Rayleigh and Ritchie models are also considered to describe signal transmission conditions with and without line-of-sight (LOS). The article presents a mathematical model of packet transmission in Lasertag systems and the results of numerical experiments conducted using a rifle with a TSAL6100 IR LED. The experiments were conducted at different LED modulation powers to determine the zone of reliable signal reception. The results showed that the zone of reliable reception increases with increasing power: at 100 mW it was up to 50 meters, at 200 mW – up to 65 meters, and at 900 mW – up to 125 meters. This indicates that increasing the modulation power significantly improves the quality of communication at long distances. In addition, the author emphasizes the importance of taking into account external interference, such as sunlight and fluorescent lamps, which can degrade the quality of communication. The article also discusses the influence of the angle of divergence of the rays on the communication range and resistance to interference. The conclusions of the study may be useful for further optimization of systems for simulating small-arms combat and improving data transmission technologies in real combat conditions. The use of mathematical models allows not only to improve the efficiency of data transmission, but also to ensure the reliability of communications in hard conditions of simulated combat operations.

Key words: Lasertag, mathematical model, infrared communications.

Вступ. Сучасні технології імітації зброї Lasertag відіграють важливу роль у сфері військового та цивільного навчання, забезпечуючи безпеку та ефективність тренувального процесу. Традиційні методи підготовки військовослужбовців та правоохоронних органів часто пов'язані з ризиками, пов'язаними з використанням бойової зброї. Одним із найперспективніших напрямів у цій галузі є використання інфрачервоного випромінювання для розробки систем імітації зброї [1]. Інфрачервоні системи Lasertag дозволяють створювати високоточні симуляції, які відтворюють як механічні, і акустичні характеристики реальної зброї. Математичні методи моделювання каналів зв'язку з використанням інфрачервоної (ІЧ) технології відіграють ключову роль у забезпеченні надійності та ефективності передачі даних. Інфрачервоні канали зв'язку є особливий клас бездротових комунікаційних систем, які використовують інфрачервоне випромінювання передачі інформації. Ці системи знаходять застосування у різних галузях, включаючи локальні мережі, мобільні пристрої та системи автоматизації[2]. Математичне моделювання таких каналів дозволяє досліджувати їх характеристики, передбачати поведінку в різних умовах та оптимізувати параметри для досягнення максимальної продуктивності. Перелічимо основні математичні моделі [3–8].

Модель ідеального каналу. Ідеальний канал являє собою теоретичну модель, в якій сигнал повністю збігається з переданим. У математичному виразі це можна записати як:

$$y(t) = x(t)$$

де $y(t)$ – Прийнятий сигнал, а $x(t)$ – переданий сигнал. Однак у реальних умовах такий ідеальний канал неможливий через різні фактори, такі як шум і згасання сигналу.

Модель каналу з адитивним гаусовим білим шумом (AWGN) є однією з найбільш поширених моделей для оцінки продуктивності систем зв'язку. Вона враховує тепловий шум, що виникає як у передавачі, так і у приймачі. Математично модель AWGN описується так:

$$y(t) = x(t) + n(t)$$

де $n(t)$ – це адитивний білий гауссів шум з нульовим середнім значенням та заданою дисперсією. Ця модель дозволяє аналізувати вплив шуму на якість передачі даних та розраховувати ймовірність помилок.

Моделі багатошляхового згасання (Multipath Fading). У реальних умовах сигнал може досягати приймача через кілька шляхів, що призводить до інтерференції та згасання. Моделі багатошляхового згасання враховують різні затримки та амплітуди сигналів, що надходять з різних напрямків. Тимчасова залежність сигналу може бути описана наступним чином:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N a_i x(t - \tau_i) + n(t)$$

де a_i – амплітуда i -го шляху, τ_i – затримка i -го шляху, а N – загальна кількість шляхів.

Модель Рейлі та Річі. Для опису умов передачі з урахуванням наявності прямої видимості (LOS) та без неї використовуються моделі Рейлі та Річі. Модель Рейлі застосовується в умовах відсутності прямої видимості, тоді як модель Річі враховує наявність як LOS, так і NLOS (non-line of sight) шляхів.

Модель Рейлі :

$$y(t) = \sum_{k=1}^K A_k e^{j(\varphi_k + \omega_k t)}$$

де A_k – амплітуда k -го компонента, φ_k – фаза, а ω_k – частота.

Модель Річі включає додатковий компонент LOS:

$$y(t) = A_{LOS}x(t) + \sum_{i=1}^N A_i x(t - \tau_i) + n(t)$$

де A_{LOS} – амплітуда прямого сигналу.

Основні параметри, що впливають на продуктивність інфрачервоного зв'язку, включають як фізичні характеристики обладнання, так і умови навколишнього середовища. Нижче наведено ключові фактори, які визначають ефективність інфрачервоних систем передачі даних.

Спектральний діапазон визначає довжину хвиль, які може виявити інфрачервоний детектор. Різні системи працюють у різних діапазонах, таких як ближній (NIR), середній (MWIR) та довгохвильовий (LWIR) інфрачервоний діапазони. Неправильний вибір діапазону може суттєво знизити дальність та якість зв'язку.

Чутливість детектора визначає його здатність перетворювати інфрачервоне випромінювання в електричний сигнал. Висока чутливість дозволяє краще виявляти слабкі сигнали, що критично для високошвидкісної передачі даних.

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання, що генерується передавачем, має бути достатньою для забезпечення надійного зв'язку. Протокол IrDA вимагає певних рівнів інтенсивності випромінювання підтримки якості передачі даних.

Кут розходження променя впливає на дальність зв'язку та стійкість до перешкод. Занадто вузький кут може призвести до втрати сигналу через вібрації або атмосферні умови, в той час як занадто широкий кут може знизити ефективність передачі.

Поле зору (FOV) визначає кут, у якому може ефективно виявляти інфрачервоне випромінювання. Широке поле зору може підвищити можливість успішного виявлення сигналу, особливо в динамічних умовах.

Вплив зовнішніх перешкод. Інфрачервоні системи піддаються впливу зовнішніх джерел світла, таких як сонячне світло та флуоресцентні лампи. Ці перешкоди можуть погіршити якість зв'язку, тому важливо використовувати фільтри та інші методи придушення шумів.

Дальність ефективного зв'язку залежить від багатьох факторів, включаючи потужність передавача, чутливість приймача та умови середовища. При високих швидкостях передачі дальність може скорочуватися. Тому доцільно провести комп'ютерне моделювання залежності кількості прийнятих інформаційних пакетів від відстані при імітації прицільної стрільби в системах імітації бою Lasertag.

Математична модель. У основу математичної моделі покладено те що, що спрацювання ІЧ приймача відбувається, коли яскравість сигналу перевищує $J_{порВт} / \text{м}^2$. Світловий пучок має форму конуса з кутом $2 \cdot \varphi_{св}$ і на відстані L від передавача площа світлової плями буде

$$S_{\pi} = \pi(L \cdot tg \varphi_{св})^2.$$

Також слід врахувати, що приймач може бути зміщений від осі світлового пучка на φ_p градусів і повернутий на φ_κ . Це станеться в тому випадку, коли, наприклад, прицілювання буде не точним (у тому числі тремтіння стовбура), а ціль трохи повернеться навколо своєї осі. Ці два фактори власними силами можуть призвести до спотворення пакета і навіть переривання передачі. Таким чином, ефективна яскравість передавача на відстані L можна уявити як:

$$J_p = \frac{P_{\text{св}}}{\pi(L \cdot g \varphi_{\text{св}})^2} \cdot \alpha(\varphi_p) \cdot \beta(\varphi_\kappa),$$

де $P_{\text{св}}$ – ефективна потужність світлодіода, $\alpha(\varphi_p)$ – коефіцієнт ослаблення випромінювання світлодіода при відхиленні від осі пучка на φ_p (діаграма спрямованості з технічних характеристик світлодіода), $\beta(\varphi_\kappa)$ – коефіцієнт ослаблення чутливості приймача при повороті приймача на φ_κ (також береться з технічної документації на приймач).

При моделюванні процесу передачі інформаційного пакета виходитимемо з того, що пакет складається з 4 байт даних і 4 байт коду корекції Ріда-Соломона, що дає змогу виправити до 4 біт даних. Для кожного біта моделюємо умови прийому: вважатимемо, що кути φ_p і φ_κ плавно змінюються кожен момент часу зі швидкістю v_p і v_κ відповідно в невеликих межах і тому обчислимо $J_p = J_p(\varphi_p, \varphi_\kappa)$ для кожного моменту передачі біта. Якщо передавалася «1», то необхідно, щоб виконувалася умова $J_p \geq J_{\text{пор}}$, інакше біт буде вважатися спотвореним. Наявність більше чотирьох спотворених біт означає, що цей пакет вважатиметься неприйнятним. Таким чином можна порахувати скільки пакетів N було прийнято.

Результати та обговорення. Було проведено низку чисельних експериментів. Умови експерименту такі: гвинтівка оснащена ІЧ світлодіодом TSAL6100 (яскравість 1000мВт при піковому струмі 1А) без фокусуючої лінзи (кут розсіювання 10 градусів) обстрілювала малорухливу мету, забезпечену головними датчиками на основі TSOP572. Здійснювалося по 1000 пострілів на різній відстані та фіксувалася кількість влучень. Потім потужність модуляції світлодіода змінювалася, і серія дослідів повторювалася. Для порівняння проводилися такі ж самі експерименти з фокусуючої лінзою (кут розсіювання 5 градусів). Перша серія експериментів проводилася при потужності 100мВт. Результати наведені на рис. 1. З результатів видно, що зона впевненого прийому становить до 50 метрів, а при вже 75–80 метрах прийом припиняється. Друга серія експериментів проводилася за потужністю 200мВт. Результати наведені на рис. 2. З результатів видно, що зона впевненого прийому становить до 65 метрів, а понад 80 метрів прийом різко погіршується. Третя серія експериментів проводилася за потужністю 900мВт. Результати наведені на рис. 3. З результатів видно, що зона впевненого прийому зросла до 125 метрів, а понад 190 метрів прийом різко погіршується. І на кінець, четверта серія експериментів проводилася за максимальною потужністю 900мВт. Зрозуміло, що це екстремальні умови для світлодіода, і їх не потрібно постійно використовувати, якщо бажано продовжити життя світлодіодові. Результати наведені на рис. 4.

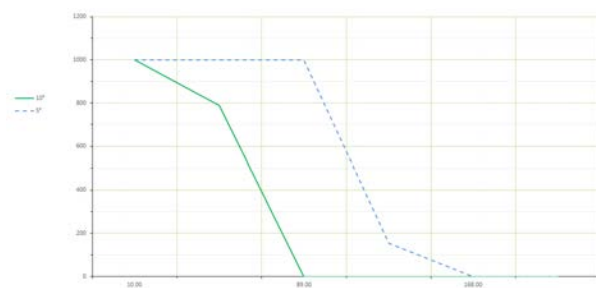


Рис. 1. Графік залежності кількості влучень від відстані при потужності 100мВт

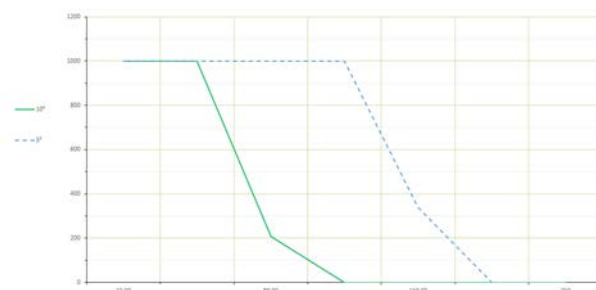


Рис. 2. Графік залежності кількості влучень від відстані при потужності 200мВт

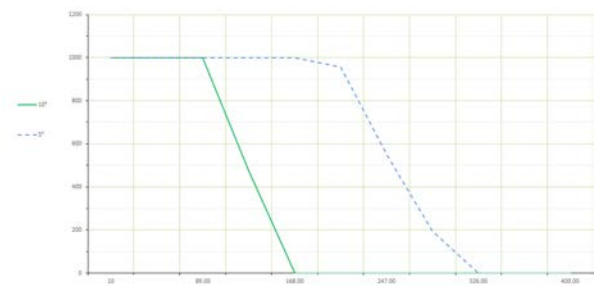


Рис. 3. Графік залежності кількості влучень від відстані при потужності 500мВт

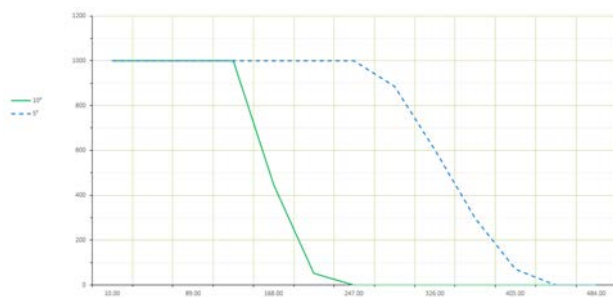


Рис. 4. Графік залежності кількості влучень від відстані при потужності 900мВт

З результатів видно, що зона впевненого прийому зросла приблизно до 150 метрів, а понад 160 метрів прийом погіршується, але ще можливо влучати у ціль десь на дистанції 200 метрів. Це максимально комфортна дистанція прицілювання – щоб надійно влучати треба ретельно прицілюватися. До речі – більша кількість випадків втрачених пакетів пов'язана як раз з перериванням потоку даних за рахунок тремтіння ствола та рухові цілі. Ще раз наголошуємо, що ці результати були отримані без будь-яких лінз, але це не означає, що ними не варто користуватися – сенс у тому, що світлова пляма від світлодіода може досягати більш 10 метрів на відстані 50 метрів. Лінза з кутом у 2–3 градуси дає пляму дватри метра у діаметрі. Але ж є ще один аспект – це використання лазертага у приміщеннях. Якщо влаштувати дуель у спортзалі, то 10 відсотків може бути забагато за рахунок відбитків променів від стін. Тобто регуляція потужності світлодіода є досить актуальною.

Висновки. Незважаючи на очевидне збільшення дистанції при використанні коліматорних лінз, слід зазначити, що на великій відстані точність прицілювання різко падає. Навпаки, за їх відсутності діаметр пучка неприйнятно зростає до кількох десятків метрів. Виходячи з цього пропонується використовувати фокусуючі лінзи з високою апертурою та помірно підвищення ефективної потужності світлодіода приблизно до 500мВт з обов'язковим використанням широтно-імпульсної модуляції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Multiple Integrated Laser Engagement System (MILES). URL: <https://man.fas.org/dod-101/sys/land/miles.htm>
2. Barker P., Boucouvalas A.C., Vitsas V. Performance modelling of the IrDA infrared wireless communications protocol. *Int. J. Commun. Syst.* 2000. P. 589-604.
3. A physical model of the wireless infrared communication channel [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/3234788_A_physical_model_of_the_wireless_infrared_communication_channel
4. A channel model for wireless infrared communication [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/3872334_A_channel_model_for_wireless_infrared_communication
5. Mathematical Model and Synthetic Data Generation for Infra-Red Sensors [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/23/9458>
6. Optimization and Mathematical Modeling of Communication Networks [Електронний ресурс]. URL: https://www.academia.edu/40804741/OPTIMIZATION_AND_MATHEMATICAL_MODELING_OF_COMMUNICATION_NETWORKS Monograph
7. Communication channel models [Електронний ресурс]. URL: https://eelabs.faculty.unlv.edu/docs/labs/ee460L/ee460L_03_experiment_3.pdf
8. Channel models for wireless systems [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/channel-model.html>

REFERENCES:

1. Multiple Integrated Laser Engagement System (MILES) [Military Analysis Network] Retrieved from <https://man.fas.org/dod-101/sys/land/miles.htm> [in English].
2. Barker P., Boucouvalas A.C., Vitsas V. Performance modelling of the IrDA infrared wireless communications protocol. *Int. J. Commun. Syst.* 2000. P. 589-604.
3. A physical model of the wireless infrared communication channel. [IEEE Journal on Selected Areas in Communications] *www.researchgate.net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/3234788_A_physical_model_of_the_wireless_infrared_communication_channel [in English].

4. A channel model for wireless infrared communication. [IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)] *www.researchgate.net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/3872334_A_channel_model_for_wireless_infrared_communication [in English].

5. Mathematical Model and Synthetic Data Generation for Infra-Red Sensors [MDPI AG]. *www.mdpi.com*. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/23/9458> [in English].

6. Optimization and Mathematical Modeling of Communication Networks [ACADEMIA] *www.academia.edu*. Retrieved from https://www.academia.edu/40804741/OPTIMIZATION_AND_MATHEMATICAL_MODELING_OF_COMMUNICATION_NETWORKS_Monograph [in English].

7. Communication channel models [Electrical and Computer Engineering Labs] *eelabs.faculty.unlv.edu*. Retrieved from eelabs.faculty.unlv.edu/docs/labs/ee460L/ee460L_03_experiment_3.pdf [in English].

8. Channel models for wireless systems [RF Wireless World] Retrieved from <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/channel-model.html> [in English].

УДК 37.091.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.11>

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК КЛЮЧОВИЙ ІНСТРУМЕНТ У STEM-ОСВІТІ: СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

Серденко Т. В. – кандидат фізико-математичних наук,
старший викладач кафедри інженерії, технологій та професійної освіти
Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0000-0002-1157-6115

Рейс Т. Т. – старший викладач кафедри інженерії, технологій та професійної освіти
Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0000-0002-4917-3928

Панченко О. Д. – старший викладач кафедри інженерії,
технологій та професійної освіти Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0009-0001-1497-7176

У статті розглядається важлива роль інформаційних технологій (ІТ) у трансформації STEM-освіти, яка є ключовим напрямом розвитку сучасної освіти. Окреслено вплив ІТ на якість, ефективність та доступність STEM-навчання, а також детально проаналізовано стан впровадження цих технологій як на міжнародному рівні, так і в Україні. Основну увагу приділено аналізу викликів і перспектив, що виникають у процесі інтеграції інноваційних підходів до навчання.

Автори наголошують на важливості використання хмарних обчислень, штучного інтелекту (ШІ), доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) у навчальному процесі. Зазначено, що ці технології відкривають нові можливості для створення інтерактивного, адаптивного та персоналізованого середовища, яке не лише стимулює цікавість студентів, а й значно підвищує ефективність навчання. Зокрема, хмарні технології забезпечують доступ до потужних ресурсів і платформ, таких як онлайн-лабораторії, що дозволяють студентам і викладачам працювати над складними проєктами, незалежно від географічного положення. Штучний інтелект допомагає розробляти адаптивні освітні програми, що підлаштовуються під індивідуальні потреби кожного студента, а AR і VR створюють можливості для глибшого засвоєння матеріалів через занурення у симульоване середовище.

Особливу увагу приділено адаптації міжнародного досвіду впровадження ІТ у STEM-освіту до умов України. Зокрема, розглядаються питання створення цифрових лабораторій, розробки та впровадження інноваційних освітніх платформ, а також необхідність удосконалення системи підготовки педагогів. Це включає навчання викладачів новим методикам використання ІТ у навчальному процесі та забезпечення їх сучасними цифровими інструментами.

У статті також підкреслено важливість стратегічного підходу до подолання цих викликів. Розглянуто проблеми, пов'язані з обмеженістю ресурсів, що впливають на доступність ІТ-рішень, та низькою підготовленістю багатьох викладачів до використання цифрових інструментів у роботі. Запропоновано низку рекомендацій для вдосконалення процесу інтеграції інформаційних технологій у STEM-освіту.

Ключові слова: STEM-освіта, інформаційні технології, хмарні обчислення, штучний інтелект, віртуальна реальність, цифрові лабораторії, персоналізоване навчання.

Serdenko T. V., Rejs T. T., Panchenko O. D. Information technologies as a key tool in STEM education: current state and prospects

The article examines the role of information technologies as a key tool in transforming STEM education (Science, Technology, Engineering, Mathematics) in the modern world. It analyzes the current state of IT implementation in STEM education at both the international and national levels, emphasizing the challenges and prospects for development. The article highlights the integration of innovative tools such as cloud computing, artificial intelligence (AI), augmented

and virtual reality (AR/VR), and digital laboratories into the educational process. These technologies enhance interactivity, personalization, and the overall efficiency of teaching and learning, ensuring better engagement and understanding among students.

A detailed review of international practices demonstrates how IT tools are successfully incorporated into STEM education in developed countries. These practices serve as benchmarks for adapting global experience to local contexts, including Ukrainian education. Particular attention is given to the potential of adaptive educational platforms powered by AI to analyze student progress, providing individualized recommendations and fostering self-directed learning. Furthermore, the study explores the possibilities of AR/VR technologies to create immersive environments for studying complex scientific phenomena, enabling practical learning without physical constraints.

The article also addresses the key challenges associated with IT integration in STEM education, including insufficient funding, inadequate teacher training, and uneven access to digital infrastructure across regions. Overcoming these barriers is essential for achieving the full potential of IT in transforming the educational landscape. The authors propose strategic approaches to address these issues, including government support, public-private partnerships, and international collaboration in the field of education.

The findings highlight the importance of creating a robust information educational environment that supports innovative teaching and learning practices, ultimately contributing to the preparation of highly skilled specialists capable of addressing global challenges. By leveraging the opportunities offered by information technologies, STEM education can be made more effective, inclusive, and future-ready.

Key words: information technologies, STEM education, cloud computing, artificial intelligence, augmented reality, virtual reality, digital laboratories, personalized learning, educational environment.

Постановка проблеми. Сучасний світ перебуває у стані стрімкої цифрової трансформації, що значно впливає на всі аспекти суспільного життя, зокрема на освіту. STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics) [1], яка спрямована на розвиток науково-технічних компетентностей, стає одним із ключових напрямів підготовки молодого покоління до викликів ХХІ століття. Інтеграція інформаційних технологій [2] у STEM-освіту відкриває нові можливості для підвищення ефективності навчального процесу, розвитку креативності, критичного мислення та міждисциплінарного підходу.

Використання таких технологій, як штучний інтелект, доповнена та віртуальна реальність, хмарні платформи, значно змінює традиційні підходи до навчання. Вони дозволяють створювати інтерактивні, персоналізовані та практично орієнтовані середовища, що сприяють глибшому розумінню складних концепцій у природничих і технічних науках. Водночас впровадження цих технологій супроводжується низкою викликів, зокрема фінансовими, технічними та педагогічними.

Мета дослідження. Метою цієї роботи є аналіз сучасного стану використання інформаційних технологій у STEM-освіті, дослідження міжнародного та українського досвіду, а також визначення перспектив розвитку цієї сфери. У статті розглядаються як теоретичні аспекти, так і практичні приклади впровадження інформаційних технологій, що базуються на аналізі сучасних досліджень та практик.

Стаття також акцентує увагу на викликах і можливостях, які створює цифрова трансформація освіти, пропонуючи рекомендації щодо подальшого впровадження ІТ-рішень у STEM-освіту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics) є міждисциплінарним підходом до навчання, який інтегрує знання з природничих наук, технологій, інженерії та математики для вирішення реальних проблем. Основною метою STEM-освіти є формування у студентів критичного мислення, творчих здібностей, практичних навичок і здатності працювати в команді. Цей підхід відповідає вимогам сучасного суспільства, яке стикається з постійними технічними викликами та швидким розвитком технологій [3].

В історичному контексті STEM-освіта виникла як відповідь на потребу у підвищенні конкурентоспроможності в науці й техніці. Вона набула популярності в середині XX століття, коли країни, такі як США, почали впроваджувати освітні програми, спрямовані на розвиток технологічних і наукових навичок у студентів [4]. Сьогодні STEM-освіта стала глобальним трендом, підтримуваним міжнародними організаціями, включаючи ЮНЕСКО та OECD.

STEM-освіта базується на декількох ключових принципах. Міждисциплінарність передбачає інтеграцію знань із кількох дисциплін для розв'язання комплексних проблем [5]. Практична орієнтованість акцентує увагу на навчанні через практичні завдання, проєкти та дослідження [6]. Використання сучасних технологій, таких як віртуальні лабораторії, симуляції та хмарні платформи, допомагає зробити навчальний процес більш інноваційним і доступним.

Значення STEM-освіти для сучасного суспільства є багатограним. Вона сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців, які здатні впроваджувати інновації у таких сферах, як медицина, енергетика, інформаційні технології та промисловість [7]. STEM-освіта також допомагає розв'язувати глобальні проблеми, включаючи зміну клімату, сталий розвиток і цифрову трансформацію [4].

Попри очевидні переваги, впровадження STEM-освіти супроводжується низкою викликів. Одним із найбільших є недостатнє фінансування, що ускладнює закупівлю сучасного обладнання та створення цифрових лабораторій [8]. Іншою проблемою є недостатня підготовка педагогів, які не завжди мають необхідний рівень знань і навичок для реалізації STEM-освітніх програм.

Виклад основного матеріалу дослідження. В Україні STEM-освіта перебуває на етапі активного розвитку. Адаптація міжнародного досвіду до локальних умов є ключовим завданням для ефективного впровадження STEM-програм. Зокрема, важливим є впровадження інформаційних технологій, таких як хмарні сервіси, цифрові платформи та інтерактивні симуляції, які сприяють підвищенню доступності та якості освіти.

Інформаційні технології відіграють ключову роль у розвитку та впровадженні STEM-освіти, оскільки вони забезпечують нові можливості для інтерактивного та ефективного навчання. Використання сучасних технологій дозволяє створювати інноваційні освітні середовища, які сприяють розвитку критичного мислення, творчості та практичних навичок. Інтерактивні інструменти, такі як віртуальна та доповнена реальність (VR і AR), симулятори, хмарні платформи та цифрові лабораторії, відкривають нові горизонти для викладачів і студентів, роблячи навчання доступнішим, цікавим і практично орієнтованим [6].

Віртуальні середовища та доповнена реальність дозволяють студентам взаємодіяти з науковими концепціями у візуально привабливій і динамічній формі. Наприклад, VR-симуляції дозволяють проводити експерименти, які в реальних умовах були б небезпечними або надто дорогими [9, 10]. Такі технології особливо корисні для вивчення фізики, хімії та біології, де візуалізація складних явищ відіграє важливу роль у розумінні. Хмарні обчислення, у свою чергу, забезпечують спільну роботу студентів і викладачів у реальному часі, надаючи доступ до потужних аналітичних інструментів і баз даних, які можна використовувати для аналізу великих обсягів даних та моделювання складних систем.

Персоналізація навчального процесу є ще одним важливим аспектом, який стає можливим завдяки інформаційним технологіям. Використання штучного інтелекту (AI) дозволяє адаптувати навчальні матеріали до індивідуальних потреб кожного студента, аналізуючи їхній прогрес і пропонуючи відповідні завдання для

покращення результатів [5]. Це особливо актуально для STEM-дисциплін, де студенти часто стикаються з різними рівнями складності матеріалів.

Попри значні переваги, впровадження інформаційних технологій у STEM-освіту супроводжується викликами, зокрема пов'язаними з високою вартістю обладнання, необхідністю підвищення кваліфікації викладачів і забезпеченням доступу до інфраструктури у віддалених регіонах. Проте зусилля, спрямовані на подолання цих викликів, виправдовують себе, оскільки інформаційні технології сприяють підготовці висококваліфікованих фахівців, які здатні відповідати на виклики сучасного світу.

Міжнародний досвід впровадження інформаційних технологій у STEM-освіту демонструє широкий спектр інноваційних підходів, які значно змінюють методи навчання та взаємодії студентів із навчальним матеріалом. У багатьох країнах, таких як США, Великобританія та Сінгапур, впровадження сучасних ІТ-рішень стало важливим елементом освітньої політики. Одним із ключових напрямів є використання хмарних обчислень для створення інтерактивного середовища навчання. Хмарні платформи дозволяють забезпечити доступ до ресурсів і спільної роботи в реальному часі, що особливо важливо для проєктної роботи у STEM-дисциплінах [5].

Іншим важливим напрямом є застосування штучного інтелекту (AI) у STEM-освіті. AI-технології використовуються для персоналізації навчання, аналізу прогресу студентів і створення адаптивних освітніх платформ. У країнах Європи, зокрема в Нідерландах та Фінляндії, такі рішення дозволяють студентам працювати у власному темпі, отримуючи автоматизовані рекомендації для покращення результатів. Це значно підвищує ефективність навчання та сприяє розвитку самостійності у студентів.

Значна увага приділяється інтеграції STEM-освіти в глобальний контекст через використання міжнародних онлайн-платформ. Наприклад, Coursera, Khan Academy та Labster надають доступ до курсів і симуляцій від провідних університетів, забезпечуючи навчальні матеріали високої якості. Це особливо важливо для країн із обмеженими ресурсами, оскільки дозволяє викладачам і студентам використовувати передові ІТ-рішення без значних фінансових витрат [3].

Міжнародний досвід впровадження інформаційних технологій у STEM-освіту демонструє широкий потенціал для модернізації навчального процесу. Інноваційні рішення, такі як хмарні обчислення, доповнена реальність, штучний інтелект і глобальні платформи, сприяють підвищенню якості освіти, роблять її доступнішою та інтерактивнішою. Вивчення цього досвіду є важливим для адаптації найкращих практик до локальних умов, зокрема в Україні, що забезпечить ефективну інтеграцію STEM-освіти в глобальний освітній простір.

Перспективи впровадження інформаційних технологій (ІТ) у STEM-освіту в Україні є багатограними та обіцяють значний прогрес у підготовці студентів до викликів сучасного світу. Зважаючи на зростаючу потребу в інноваційних підходах до навчання, ІТ стають основою трансформації освітнього процесу. Україна має унікальні можливості для інтеграції передових технологій у STEM-освіту, зокрема через використання хмарних платформ, віртуальних лабораторій, штучного інтелекту (AI) та інших цифрових інструментів.

Одним із ключових напрямів є розвиток хмарних платформ для спільної роботи студентів і викладачів. Хмарні технології дозволяють інтегрувати ресурси, надавати доступ до навчальних матеріалів у реальному часі та спростувати управління навчальним процесом. Такі рішення особливо актуальні для забезпечення доступу до якісної освіти у віддалених регіонах, що може зменшити освітню нерівність.

Використання AI у STEM-освіті дозволяє персоналізувати навчальний процес. Адаптивні освітні платформи можуть аналізувати прогрес студентів, визначати їхні сильні та слабкі сторони й автоматично підбирати завдання відповідно до їхнього рівня підготовки. Це сприяє підвищенню ефективності навчання та дозволяє викладачам приділяти більше уваги індивідуальним потребам студентів.

Ще одним важливим аспектом є розвиток цифрових лабораторій, які можуть забезпечити доступ до сучасного обладнання та симуляцій для студентів, незалежно від матеріальних ресурсів навчальних закладів. В Україні вже існують ініціативи щодо створення таких лабораторій, але для їхнього масового впровадження необхідна державна підтримка та міжнародна співпраця [8].

Важливим завданням залишається підготовка викладачів до використання IT у STEM-освіті. Необхідно впроваджувати програми підвищення кваліфікації педагогів, орієнтовані на роботу з сучасними технологіями. Зокрема, слід приділити увагу методикам інтеграції цифрових інструментів у навчальний процес і розробці проектно-орієнтованого підходу до викладання STEM-дисциплін.

Попри перспективи, впровадження IT у STEM-освіту в Україні стикається з низкою викликів. Серед них можна виділити недостатнє фінансування, відсутність доступу до сучасного обладнання у багатьох регіонах, а також брак підготовлених фахівців. Проте успішний досвід інших країн свідчить, що ці перешкоди можна подолати завдяки ефективному управлінню, залученню міжнародних партнерів і впровадженню державних програм підтримки STEM-освіти.

Перспективи впровадження IT у STEM-освіту в Україні залежать від активної участі держави, міжнародного співробітництва та зусиль освітніх установ. Інформаційні технології можуть стати потужним інструментом для модернізації освіти, що підвищить її якість, доступність та ефективність, водночас забезпечуючи підготовку студентів до викликів сучасного світу.

Розвиток інформаційних технологій (IT) у STEM-освіті відкриває широкі можливості для трансформації навчального процесу, але водночас супроводжується низкою викликів, які необхідно подолати для ефективного впровадження цих технологій.

Одним із найбільших викликів є фінансування. Висока вартість сучасного обладнання, програмного забезпечення та створення цифрових лабораторій ускладнює їх доступність для навчальних закладів, особливо в регіонах із обмеженими ресурсами. Крім того, впровадження IT вимагає значних інвестицій у підтримку інфраструктури, наприклад, забезпечення високошвидкісного інтернету та оновлення технічних засобів.

Іншим важливим викликом є недостатня підготовка викладачів до роботи з сучасними технологіями. Викладачі часто не мають необхідних навичок для ефективного використання IT у навчальному процесі, що знижує ефективність інтеграції технологій у STEM-освіту. Для подолання цієї проблеми потрібні спеціальні програми підвищення кваліфікації, спрямовані на розвиток цифрових компетенцій педагогів [8].

Ще одним викликом є нерівномірний доступ до технологій, зумовлений регіональними та соціальними відмінностями. У сільських та віддалених районах студенти часто не мають доступу до сучасного обладнання або якісного інтернету. Це створює значний розрив у можливостях навчання між містом і селом.

Таким чином, IT у STEM-освіті є потужним інструментом, який здатен змінити підхід до навчання, зробивши його більш ефективним, інтерактивним і доступним. Проте для реалізації всього потенціалу цих технологій необхідно вирішити

проблеми фінансування, забезпечення доступу до ресурсів і підготовки викладачів. Лише за умови подолання цих викликів ІТ можуть повною мірою розкрити свої можливості у розвитку STEM-освіти, сприяючи підготовці висококваліфікованих фахівців для вирішення глобальних проблем сучасного

Висновки. Інтеграція інформаційних технологій у STEM-освіту є потужним інструментом, який трансформує традиційні підходи до навчання, роблячи їх більш інтерактивними, персоналізованими та практично орієнтованими. Сучасні технології, такі як хмарні платформи, штучний інтелект, доповнена та віртуальна реальність, пропонують нові можливості для студентів і викладачів, сприяючи формуванню критичного мислення, творчості та практичних навичок.

Міжнародний досвід свідчить, що використання ІТ у STEM-освіті дозволяє вирішувати складні завдання, інтегрувати міждисциплінарні знання та підвищувати зацікавленість студентів у науці, технологіях, інженерії та математиці. У країнах, які активно впроваджують ці технології, спостерігається зростання якості освіти, покращення результатів навчання та підвищення конкурентоспроможності випускників на глобальному ринку праці.

Водночас, впровадження ІТ у STEM-освіту стикається з низкою викликів, таких як недостатнє фінансування, нерівномірний доступ до ресурсів, низький рівень цифрової підготовки викладачів та технічна інфраструктура. У випадку України ці виклики є особливо актуальними, проте їх подолання можливе завдяки державній підтримці, міжнародній співпраці та залученню бізнесу до освітніх ініціатив.

Розвиток ІТ у STEM-освіті відкриває перспективи для створення інноваційних освітніх моделей, що сприятимуть не лише ефективному засвоєнню знань, але й розвитку навичок, необхідних для вирішення сучасних глобальних викликів. Важливими кроками у цьому напрямі є створення цифрових лабораторій, інтеграція адаптивних платформ для персоналізованого навчання, впровадження хмарних технологій для дистанційної освіти та підготовка викладачів до використання інноваційних рішень.

Таким чином, ІТ є ключовим елементом STEM-освіти, який допомагає адаптувати її до потреб сучасного суспільства та ринку праці. Для реалізації всього потенціалу цих технологій необхідно забезпечити стратегічний підхід до їх впровадження, що дозволить підготувати молоде покоління до викликів цифрового майбутнього та сприятиме розвитку інноваційної економіки.

СПИСОК ВИКОРСИТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мізюк В., Новак Г. Генезис поняття та ідей STEM-освіти в Україні та зарубіжжі: історичний аспект. *Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету*. 2022. № 57. С. 87.
2. Бабійчук І. М., Косовець О. В., Соє О. В. Огляд дефініцій понять «Цифрові технології» та «Інформаційне освітнє середовище». *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2022. Вип. 1 (130). С. 13–18.
3. Chai C. S., Wang Q. Technology-enhanced STEM (science, technology, engineering, and mathematics) education. *Asia-Pacific Education Researcher*. 2015. Т. 24, № 4. С. 631–640.
4. Балик Н. Р., Шмигер Г. П. Підходи та особливості сучасної STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*. 2017. Т. 2, № 12. С. 9–14.
5. Ma Y., Chen W. The application of AI technologies in STEM education: A systematic review. *International Journal of STEM Education*. 2022. Т. 9, № 1. С. Article 7.
6. Lee V. R., Drake J. R. Examining the use of emerging technologies in schools: A comprehensive study. *Educational Technology Research and Development*. 2023. Т. 71, № 2. С. 150–170.

7. Zhang L., Zhu X. A summary research of the current status, hot spots, and trends in STEM education. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer, 2023.

8. Олефіренко Н. В., Андрієвська В. М., Носова В. В. Світовий досвід запровадження STEM-технологій в освіту. *Фізико-математична освіта*. 2020. Т. 3, № 25. С. 15–20.

9. Литвинова С. Г. Концептуальні підходи до використання засобів доповненої реальності в освітньому процесі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2020. Вип. 55. С. 46–62.

10. Вербівський Д. Інноваційні технології в закладі вищої освіти. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота*. 2023. № 2 (53). С. 30–33.

REFERENCES:

1. Mizyuk, V., & Novak, H. (2022). Henezys poniattia ta idei STEM-osvity v Ukraini ta zarubizhzi: Istorychnyi aspekt [Genesis of the concept and ideas of STEM education in Ukraine and abroad: Historical aspect]. *Naukovyi Visnyk Izmailskoho Derzhavnoho Humanitarnoho Universytetu*, (57), 87. [in Ukrainian].

2. Babiychuk, I. M., Kosovets, O. V., & Soya, O. V. (2022). Ohliad definitsii poniat "tsyfrovi tekhnolohii" ta "informatsiine osvितnie seredovyshche" [Overview of definitions of "digital technologies" and "informational educational environment"]. *Visnyk Kremenchutskoho Natsionalnoho Universytetu Imeni Mykhaila Ostrohradskoho*, 1(130), 13–18. [in Ukrainian].

3. Chai, C. S., & Wang, Q. (2015). Technology-enhanced STEM (science, technology, engineering, and mathematics) education. *Asia-Pacific Education Researcher*, 24(4), 631–640.

4. Balyk, N. R., & Shmyger, H. P. (2017). Pidkhody ta osoblyvosti suchasnoi STEM-osvity [Approaches and features of modern STEM education]. *Fizyko-Matematychna Osvita*, 2(12), 9–14.

5. Ma, Y., & Chen, W. (2022). The application of AI technologies in STEM education: A systematic review. *International Journal of STEM Education*, 9(1), Article 7.

6. Lee, V. R., & Drake, J. R. (2023). Examining the use of emerging technologies in schools: A comprehensive study. *Educational Technology Research and Development*, 71(2), 150–170.

7. Zhang, L., & Zhu, X. (2023). A summary research of the current status, hot spots, and trends in STEM education. In L. Li (Ed.), *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer.

8. Olefirenko, N. V., Andriievska, V. M., & Nosova, V. V. (2020). Svitovyi dosvid zaprovadzhennia STEM-tekhnologii v osvitu [Global experience in implementing STEM technologies in education]. *Fizyko-Matematychna Osvita*, 3(25), 15–20. [in Ukrainian].

9. Lytvynova, S. G. (2020). Kontseptualni pidkhody do vykorystannia zasobiv dopovnenoї realnosti v osvितnomu protsesi [Conceptual approaches to the use of augmented reality in the educational process]. *Suchasni Informatsiini Tekhnolohii ta Innovatsiini Metodyky Navchannia u Pidhotovtsi Fakhivtsiv: Metodolohiia, Teoriia, Dosvid, Problemy*, (55), 46–62. [in Ukrainian].

10. Verbivskiy, D. (2023). Innovatsiini tekhnolohii v zakladi vyshchoi osvity [Innovative technologies in higher education institutions]. *Naukovyi Visnyk Uzhhorodskoho Universytetu. Seriia: Pedagogika. Sotsialna Robota*, 2(53), 30–33. [in Ukrainian].

UDC 004.85:004.05

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.12>

MULTI-OUTPUT REGRESSION MODELS FOR CONTROLLING MULTICOMPONENT DYNAMIC SYSTEMS

Symonov D. I. – PhD, Research Assistant of the V. M. Glushkov Institute
of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-6648-4736

Zaika B. Yu. – Postgraduate Student of the V. M. Glushkov Institute
of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0009-0001-9567-8361

Symonov Ye. D. – Master of the V. M. Glushkov Institute
of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID ID: 0009-0008-2581-2001

Modern multi-component systems are characterized by the interaction of numerous internal components and external factors, which can exhibit both regular and chaotic behavior. Effective management of such systems requires tools capable of providing accurate state predictions under conditions of uncertainty and limited input data. This article explores the use of multi-output regression models, which enable the consideration of interdependencies among system components, optimization of the parametric space, and improvement in prediction accuracy. Multi-output models allow simultaneous forecasting of several aspects of a system's state, reducing errors and enhancing the generalization ability of the models. The article provides a detailed examination of methods to improve such models, including minimization of noise influence, accounting for the temporal scales of component changes, optimization for small data samples, and increasing the interpretability of predictions. Approaches to addressing data scarcity are proposed, such as knowledge sharing between tasks and the use of generative models. Special attention is given to the challenges of applying multi-output models, including the risks of overfitting, conflicts between optimization objectives, and the impact of correlation biases. Strategies to mitigate these risks are discussed, including adapting multi-criteria optimization, parameter regularization, and developing hierarchical models that can account for system dynamics across different time scales. Ensemble approaches, which integrate the outputs of sub-models into a unified architecture, are highlighted for their ability to enhance noise robustness, prediction accuracy, and model adaptability to changing conditions. The approaches proposed in the article have practical significance for automating decision-making processes in complex multi-component systems operating under high variability and data limitations. This provides a comprehensive framework for forecasting, contributing to more effective management of dynamic systems across various domains. Thus, the article makes a significant contribution to the development of methodologies for modeling complex systems, expanding the possibilities for their analysis and management.

Key words: multivariate regression models, multicomponent systems, system state prediction, ensemble approaches, regularization.

Симонов Д. І., Заїка Б. Ю., Симонов Є. Д. Мультивихідні регресійні моделі для управління багатокomпонентними динамічними системами

Сучасні багатокomпонентні системи визначаються взаємодією численних внутрішніх компонентів і зовнішніх факторів, які можуть мати як регулярний, так і хаотичний характер. Ефективне управління такими системами вимагає інструментів, здатних забезпечувати точне прогнозування стану за умов невизначеності та обмеженості вхідних даних. У статті досліджено використання мультивихідних регресійних моделей, що дозволяють враховувати взаємозалежності між компонентами системи, оптимізувати параметричний простір і підвищувати точність прогнозування. Мультивихідні моделі забезпечують одночасне прогнозування кількох аспектів стану системи, знижуючи похибки та підвищуючи узагальнювальну здатність моделей. У статті детально розглянуто методи вдосконалення таких моделей, серед яких мінімізація впливу шуму,

врахування часових масштабів змін компонентів, оптимізація для малих вибірок даних, а також підвищення інтерпретованості прогнозів. Запропоновано підходи до роботи з малою кількістю даних, включаючи обмін знаннями між задачами та використання генеративних моделей. Особливу увагу надано викликам, які виникають при застосуванні мультивихідних моделей, зокрема ризику перенавчання, конфліктам між цілями оптимізації та впливу кореляційних упереджень. Розглянуто способи мінімізації цих ризиків, зокрема адаптацію багатокритеріальної оптимізації, регуляризацію параметрів, а також розробку ієрархічних моделей, здатних враховувати динаміку систем на різних часових рівнях. Виділяється ансамблевий підходи, які дозволяють інтегрувати результати підмоделей у єдину архітектуру для підвищення стійкості до шуму, точності прогнозування та адаптивності моделей до змінних умов. Запропоновані у статті підходи мають практичну значущість для автоматизації процесу прийняття рішень у складних багатокомпонентних системах, що функціонують в умовах високої варіативності та обмеженості даних. Це забезпечує комплексний підхід до прогнозування, що сприяє ефективнішому управлінню динамічними системами у різних галузях. Таким чином, стаття робить значний внесок у розвиток методології моделювання складних систем і розширює можливості їх аналізу та управління.

Ключові слова: мультивихідні регресійні моделі, багатокомпонентні системи, прогнозування стану систем, ансамблевий підходи, регуляризація.

Introduction. Modern multi-component systems are characterised by a high level of complexity, dependence on numerous internal and external factors that can be both regular and chaotic. The study of such systems requires the use of effective modelling methods that can take into account the interaction of components and predict the behaviour of the system under uncertainty and limited data [1, 2].

One of the most promising approaches is the use of multi-output regression models that provide simultaneous forecasting of several aspects of the system state. These models allow taking into account correlations between components and aspects of the state, reduce the parameter space and optimise loss functions, increasing the accuracy and reliability of forecasts. However, the implementation of such models is complicated by certain issues, including the presence of anomalies and noise in the data, limited size of training samples, a variety of temporal changes in components, and the complexity of interpreting the results [3–5].

Overcoming these problems requires the introduction of innovative approaches to minimise risks, optimise resources and ensure model stability. Particular attention should be paid to methods of working with small samples, the use of common parameters, knowledge transfer and generative models. This helps to improve the accuracy and adaptability of models to uncertainty, which is critical for the management, forecasting and optimisation of multi-component systems.

The relevance of the study is due to the growing need for modelling complex systems in such fields as engineering, economics and medicine. Traditional approaches to modelling are often ineffective due to the neglect of these aspects. The approaches proposed in this article not only improve the accuracy of forecasts, but also provide greater flexibility and adaptability of models. The study of this topic has significant scientific and practical potential, contributing to the development of a methodology for modelling complex systems and algorithms for effective management of multicomponent systems in modern conditions.

Problem statement. Multicomponent systems are complex objects, the dynamics of which largely depends on the interaction of internal components $X(t) = \{x_i(t)\}$ and the influence of external factors $U(t)$. Prediction of the state of such systems is complicated by a high level of noise $\Xi(t)$, different rates of changes in the state of components, limited data sampling of certain aspects of the system state y_i , which negatively affects the quality and ability to interpret the results of modelling (forecasting),

respectively, reducing the likelihood of practical implementation of these models to automate the decision-making process on the functioning of multicomponent systems in real conditions.

The aim of the study. The purpose of this study is to develop and improve methods for minimising risks and increasing the accuracy of multi-output regression models for predicting the state of multi-component systems.

Analysis of recent research and publications. Recent research in the field of forecasting the state of multicomponent systems has paid considerable attention to the use of multi-output regression models that allow for the consideration of interdependencies between aspects of the system state. In particular, works [4] and [6] demonstrate the effectiveness of such models in problems with limited data, suggesting the use of common parameters and multitasking optimisation to improve the accuracy of forecasts. In addition, study [5] emphasises the importance of regularising model parameters to reduce the risk of overfitting and improve generalization.

The approaches to noise and uncertainty accounting, which are discussed in publications [7] and [8], are of considerable interest. These papers propose noise filtering methods, such as the Kalman filter, as well as adaptive regularisation that takes into account the signal-to-noise ratio (SNR) in the system components. The research results confirm that these methods provide a significant reduction in the impact of noise components and improve the accuracy of forecasting in conditions of high data variability.

Particular attention is drawn to the works devoted to modelling the dynamics of systems with different time scales. For example, in [9], a network with heterogeneous leaky integrator neurons was proposed to efficiently model and predict multiscale dynamics by adaptively selecting time scales during the training process. Other researchers, such as [10], use wavelet transform methods to extract time trends, which allows taking into account complex system dynamics at different time levels.

The problem of model interpretability is highlighted in studies [11–13], which focus on the use of SHAP (SHapley Additive Explanations) and LIME (Local Interpretable Model Agnostic Explanations) methods to analyse the relationships between system components. These approaches help to ensure the transparency of forecasts and increase the credibility of models in practical applications.

Despite significant progress in research, a number of challenges remain unresolved, including the integration of approaches to working with small samples, ensuring the adaptability of models to noise and time scales, and developing interpretability in highly complex systems. This determines the need for further research aimed at improving existing methods and developing new approaches to modelling multicomponent systems.

Presentation of the main research material. As noted above, the state of a multicomponent system can largely depend on external and internal chaotic factors that affect its dynamics. These factors may include irregular changes in input parameters, external factors, and internal noise inherent in many real systems.

The state formula of a multicomponent system $Y(t)$ can be represented in a general form through the state vector of system aspects that describe all important parameters of the multicomponent system [2, 15]:

$$Y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t), \omega_j, t]^T = \begin{bmatrix} f_1(x_i(t), \omega_i, t) \\ f_2(x_i(t), \omega_i, t) \\ \vdots \\ f_m(x_i(t), \omega_i, t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

where $x_i(t)$ is the vector of the state of the system components at time t ;

ω_i is the weighting coefficients of the system components $x_i(t)$;

ω_j is the weighting coefficients of the system aspects $y_j(t)$.

The state vector of a system component $x_i(t)$ at time t can be defined as a system of iterative equations:

$$x_i(t+1) = f_i \left(x_i(t), \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot g(x_j(t), t), U(t), \Xi(t) \right), \quad (2)$$

where f is a function describing the evolution of the i -th component of the system;

A_{ij} is an element of the influence matrix between components i and j ;

$g(x_j(t), t)$ is a function describing the influence of component j on i ;

$U(t)$ is a vector of external factors that affect the state of the system;

$\Xi(t)$ is a vector of noise parameters for all components of the system,

$\Xi(t) = [\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t)]^T$;

$\xi_i(t)$ is a random variable.

Since it is intended to predict the state of a dynamic multicomponent system, it is advisable to consider a random variable $\xi_i(t)$ taking into account time series statistics [16]:

$$\xi_i(t) = \sigma_i(t) \cdot \varsigma_i(t), \quad (3)$$

where $\sigma_i(t)$ is the time modulation of the intensity of changes in the state of the system component; $\varsigma_i(t) \sim \mathcal{N}(0, 1)$.

Equations (1) and (2) reflect not only the state of individual components, but also the differences between phase points, which complicates the analysis and forecasting of the system. Even a slight discrepancy in the input data can significantly affect the modelling results, especially if the system has lost its equilibrium state. One of the approaches to improve the quality of forecasting the state of multi-component systems is the multi-output approach.

The advantages of using the multi-output approach include the following aspects:

1. *Taking into account interdependencies between state aspects*: a multi-output approach to predicting the state of a multicomponent system allows simultaneously taking into account interdependencies between different state aspects, which increases the accuracy and generalization of the model. For example, if there is a correlation between aspects, the regression function $f_i(\cdot)$ is optimised simultaneously for all output variables, which reduces the probability of error compared to independent forecasting of each aspect y_i .

If the aspects of the state $y_1, y_2, \dots, y_m$ have a correlation $\rho(y_i, y_j)$, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, m}, i \neq j$, then joint forecasting within the framework of a multi-output model allows taking into account the mutual influence of the aspects and the components $x_i(t)$, through the model parameters, which positively affects the value of the mean square error (MSE) of the forecast:

$$MSE_{mult} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \leq \sum_{i=1}^m MSE_i, \quad (4)$$

where $\hat{y}_i$ is the predicted value of y_i .

2. *Reducing dimensionality and improving generalization*: multi-output models use a single architecture to predict all aspects of the state, which allows for a reduction in the number of parameters compared to sequential (independent) models, meaning that the parameter space d can be reduced:

$$d_{mult} = d_{shared} + d_{spec} \ll \sum_{i=1}^m d_i, \quad (5)$$

where d_{shared} – the parameters that are similar for all aspects y_i ;

d_{spec} – the parameters that take into account the individual characteristics of each aspect y_i ;

d_i – the model parameters for predicting each aspect y_i .

3. *Improving prediction with limited data*: in problems with a few observations for each aspect y_i , a multi-output model allows knowledge to be transferred between aspects y_i using common parameters $x_i(t)$. This property is especially important when the state aspects share a similar nature or have similar patterns. In this case, the joint loss function is minimised:

$$L(\Theta) = \sum_{i=1}^m L_i(\Theta, X, Y), \quad (6)$$

where $L_i(\Theta, X, Y)$ is the loss function for the i -th aspect;

Θ is a set of common model parameters that are optimised during training.

This allows aspects y_i with less data to gain useful information from other aspects $y_j, i \neq j$, by optimising shared parameters Θ .

4. *Support for scenario analysis and decision-making*: a multi-output model allows simulating the behaviour of the system in different scenarios simultaneously, evaluating the impact of changes in parameters or external factors on several aspects of the state y_i . This approach increases the usefulness of the model in the tasks of managing a multi-component system. For example, if a system with two state aspects y_i (e.g., equilibrium state and system stability) is analysed, a multi-output model can evaluate the trade-off between these aspects when input parameters change [16, 17].

Thus, the use of a multi-output regression model to predict the state of a multicomponent system allows for an integrated approach to forecasting, reducing the forecasting error, decreasing the dimensionality of the parameter space, and reducing the requirements for the size of the input data sample without losing the quality of forecasting.

Despite the numerous advantages of multi-output regression models, their use is associated with a number of potential risks. These risks can lead to model degradation, reduced efficiency and forecasting accuracy. The risks of using a multivariate approach include the following aspects:

1. *Model degradation due to conflicting optimisation objectives*: when simultaneously predicting several aspects of the model's state, several loss functions need to be optimised. If the state aspects have contradictory dependencies or different natures, the model may not generalise the data well enough. This occurs when minimising the loss function for one aspect worsens the forecast accuracy for another, meaning that the gradients of the loss functions $\nabla_{\Theta} L_i(\Theta)$ are oriented in different directions, thus $\nabla_{\Theta} L_i(\Theta) \cdot \nabla_{\Theta} L_j(\Theta) < 0, \exists y: i \neq j$. In such cases, parameter optimisation can lead to local minimums that do not provide high accuracy for all aspects.

2. *Excessive complexity of model training (overfitting)*: a multi-output model may have a significantly higher number of parameters compared to models that predict a single aspect. This creates a risk of overfitting, especially if the available data is limited. In such cases, the model demonstrates good accuracy on the training data, but poor generalisation on the test data [18].

3. *Vulnerability to correlation bias*: if there is a high correlation $\rho(y_i, y_j)$ between aspects of state y_i , the model may use these dependencies for prediction without taking into account the fundamental cause and effect relationships. This leads to the construction of models that show degradation when conditions or data distribution change.

4. *Failure to take into account different time scales*: if aspects of the state change with different time scales (e.g., some aspects have fast dynamics and others have slow

dynamics), the multi-output model may not process them correctly [9, 10]. For example, if fast changes are described by the temporal modulation of the intensity of changes in the state of a system component $\sigma_1(t)$, and slow changes are described by $\sigma_2(t)$, then modelling the entire system without taking these frequencies into account can lead to the loss of important information, since the model cannot learn optimally on different time scales: $Y(t+1) = F(X(t), \sigma_1, \sigma_2, t)$.

5. *The influence of the random component*: if the noise component $\Xi(t)$ differs significantly between aspects of the state y_i , the model may incorrectly estimate the weight of different aspects ω_i . This leads to a decrease in accuracy for aspects with a low signal-to-noise ratio (SNR) [3].

6. *Difficulty in interpreting results*: multi-output models can be difficult to interpret, especially if aspects of the state y_i interact through nonlinear dependencies. This makes it difficult to assess the contribution of individual system components $x_i(t)$ to the forecast $\hat{y}_i$. Without appropriate analysis tools, such as SHAP or LIME, it is difficult to verify the correctness of the results [11–13].

Solving these problems requires appropriate algorithmic and methodological approaches. Accordingly, to mitigate the risks associated with the use of multi-output regression models in predicting the state of a multicomponent system, appropriate methodological approaches and algorithmic strategies should be applied. The key recommendations for minimising these risks include the following:

1. *Resolving conflicting optimisation objectives*: To resolve conflicts between loss functions, multicriteria optimisation approaches need to be adapted. One method is to use dynamic weighting of loss functions:

$$\alpha_i(t) = \frac{\mathbb{E}[\nabla_{\Theta} L_i]}{\sum_{j=1}^m \mathbb{E}[\nabla_{\Theta} L_j]}, \quad (7)$$

where $\alpha_i(t)$ is the weighting factor for the i -th loss function, adapted depending on the size of the gradient.

This approach allows balancing the influence of loss functions in the learning process, especially when combined with methods of sequential parameter optimisation:

$$\Theta(t+1) = \Theta(t) - \eta \sum_{l=1}^m \omega_l(t) \cdot \nabla_{\Theta} L_l(\Theta(t)), \quad (8)$$

where $\omega_l(t)$ is a weighting factor that depends on the stage of training l .

2. *Preventing correlation bias*: To deal with correlation bias, it is necessary to separate correlations between aspects and causal relationships. For this purpose, it is advisable to use methods that introduce a penalty for high correlations between forecasts:

$$L_{decor} = L_i(\Theta(t)) + \beta \sum_{i \neq j} \rho(\hat{y}_i, \hat{y}_j), \quad (9)$$

where ρ is the Pearson's correlation coefficient.

3. *Taking into account different time scales*: to model systems with different time scales, it is advisable to use hierarchical recurrent neural networks (HRNN) [19], which allow modelling dynamics at different levels:

$$h_i = h_{i,low}(t) + h_{i,higt}(t), \quad (10)$$

where $h_{i,low}(t)$ is the hidden state of the low-level block, $h_{i,low}(t) = f_{low}(h_{i,low}(t-1), X(t))$; $h_{i,higt}(t)$ is the hidden state of the high-level block, $h_{i,higt}(t) = f_{higt}(h_{i,higt}(t-1), h_{i,low}(t))$.

4. *Regularisation of model parameters*: one of the most effective ways to avoid overfitting is regularisation, which reduces the complexity of the model by limiting the values of its parameters. In the case of multi-output models, regularisation can be applied to the parameters Θ_s and Θ_i , where Θ_s represents the parameters that are common to all aspects y_i and Θ_i represents the parameters that are individual to the aspects y_i . The loss function with additional regularisation components has the form:

$$L_{add} = \sum_{i=1}^n \varpi_i \cdot L_i(\hat{y}_i, y_i) + \lambda_1 \|\Theta_s\|_2^2 + \lambda_2 \sum_{i=1}^n \|\Theta_i\|_2^2, \quad (11)$$

where λ_1, λ_2 are the hyperparameters of regularisation;

$\|\cdot\|_2^2$ is the ϖ_i -norm of the model parameters;

ϖ_i is the weighting factor, which implements the strategy of equality by the variance of the loss functions, $\varpi_i = \frac{1}{Var(L_i)}$.

This approach reduces the impact of small samples on model complexity and improves generalization.

5. *Noise regularisation*: to minimise the impact of noise on the model parameters Θ_s та Θ_i , it is advisable to use a specialised regularisation that takes into account the signal-to-noise ratio (SNR):

$$L_{SNR} = \sum_{i=1}^n L_i(\hat{y}_i, y_i) + \lambda \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{\Xi}^2}{\sigma_{x_i}^2}, \quad (12)$$

where σ_{Ξ}^2 – noise variance;

$\sigma_{x_i}^2$ – variance of the useful signal of the parameter $x_i(t)$ for the aspect y_i ;

$$L_i(\hat{y}_i, y_i) = \begin{cases} \delta |\hat{y}_i - y_i| - \frac{\delta^2}{2}, \forall \Delta = |\hat{y}_i - y_i| > \delta, \\ \frac{1}{2} (\hat{y}_i - y_i)^2, \forall \Delta = |\hat{y}_i - y_i| \leq \delta \end{cases},$$

where δ – threshold value for abnormal values.

6. *Transfer learning*: transferring knowledge from similar tasks or aspects can significantly improve the quality of the model. In this approach, the model is pre-trained on a large sample of data for one or more aspects of the state and then adapted for aspects with a small sample [20]. Accordingly, the adapted model for aspects with a small sample will have the form:

$$\Theta' = \arg \min_{\Theta'} \sum_{i=1}^n L_i(\hat{y}_i, y_i) + \lambda \sum_{i=1}^n \|\Theta - \Theta'\|_2^2, \quad (13)$$

where $\Theta = \arg \min \sum L_j(\hat{y}_j, y_j)$ is the training of the base model.

7. *Reducing model complexity*: pruning is an effective approach to reduce model complexity [21], which minimises the risk of overfitting and increases generalisability, especially for multi-output regression models. The main idea of pruning is to remove unimportant parameters Θ_s and Θ_i , or system components $x_i(t)$ that have a low impact on the forecasting results.

In a model with parameters $\Theta = [\Theta_s, \Theta_i]$, the impact of each parameter on the loss function L_i is analysed. Parameters whose contribution to the reduction L_i is insignificant are removed:

$$\Theta' = \left\{ \Theta_j \in \Theta \mid \left| \nabla_{\Theta_j} L_i(\hat{y}_i, y_i) \right| > \varepsilon \wedge \frac{\sigma_{\Xi}^2}{\sigma_{x_i}^2} \leq \eta \right\}, \quad (14)$$

where ε is the threshold for determining the significance of the parameter;

η is the threshold for the noise to signal ratio.

Pruning is an appropriate method for improving the efficiency of multi-output regression models. Its application allows to reduce the complexity of the model, reduce the risk of overfitting and increase interpretability, while maintaining the accuracy of forecasting the state of a multicomponent system.

The generalisation of the considered methods of minimising risks and improving forecasting accuracy allows developing an ensemble of models that effectively takes into account the complexity of multicomponent systems. This approach is based on combining different methodologies into a single architecture to improve forecasting quality, noise immunity, and interpretability. Ensemble approaches based on a multi-output structure allow integrating the results of submodels into an ensemble average of forecasts:

$$\hat{y}_i = \frac{1}{|M_i|} \sum_{j \in M_i} M_j(X_i(t), \Theta_j), \quad (15)$$

where M_i is the set of submodels that take into account the aspect y_i .

Integration of risk minimisation methods within the ensemble of models allows achieving high forecasting accuracy, reducing model complexity and increasing their resistance to noise factors. The proposed approach provides a comprehensive analysis of multicomponent systems and meets the modern requirements of scientific research aimed at modelling complex dynamic objects.

Results of an experimental study. To confirm the effectiveness of the proposed approaches related to the use of multi-output regression models in predicting the state of multicomponent dynamic systems, an experimental study was conducted on the open dataset “Energy Efficiency” [22]. The aim of the study was to empirically assess the accuracy, noise resistance, generalisability of the models and their interpretability in conditions of high data variability and different noise

Comparison of prediction accuracy: to demonstrate the improvement in prediction accuracy using the proposed methods, three multi-output models were trained and compared on the test set: Linear Regression, Ridge Regression (Linear Regression with regularization), and an ensemble model combining Linear Regression, Ridge Regression and RandomForestRegressor.

The Mean Squared Errors (MSEs) for two outputs are summarized in Table 1. The results indicate that applying regularization with Ridge Regression slightly reduces the prediction error compared to Linear Regression. Furthermore, the ensemble model achieves a significant reduction in error, showcasing its superior performance.

Figure 1 presents a plot comparing the predicted values to the real values. The ensemble model's predictions are the closest to the diagonal line, confirming that they align most closely with the real values. This observation further validates the effectiveness of the ensemble approach.

Table 1

MSEs of the models for both outputs

Model name	MSE Y_1	MSE Y_2
Linear Regression	9.7296	10.2100
Ridge Regression	9.2142	9.9373
Ensemble model	4.3177	5.5751

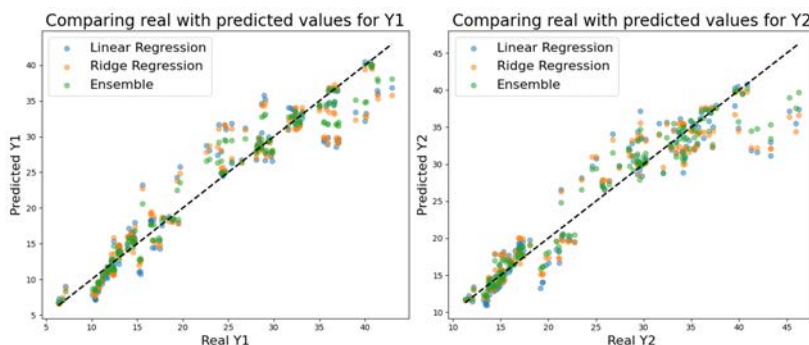


Fig. 1. Comparing the predicted values to the real

Noise vulnerability: To evaluate the resilience of the proposed approach to noise, the same models were trained on datasets with varying levels of added noise. The noise followed a normal distribution $N(0, \sigma^2)$, where σ ranged from 0 to 0.6. The average Mean Squared Errors (MSEs) for both outputs of the trained models are presented in Figure 2.

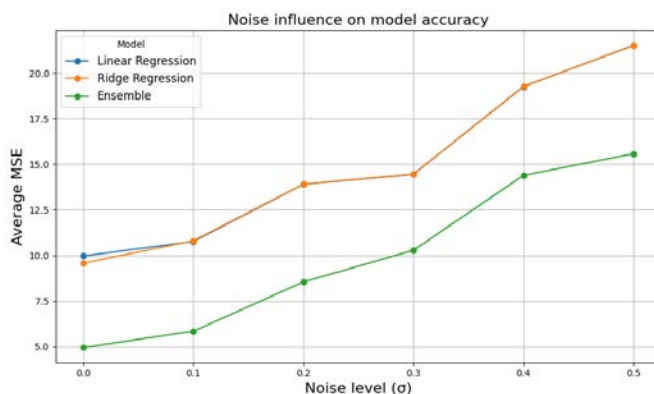


Fig. 2. Average MSE of models on datasets with varying noise level

The results demonstrate that, across all levels of noise, the ensemble approach consistently achieved the lowest average MSE. This highlights its robustness, even as the noise level increased.

Generalization ability: to assess the generalization ability of the proposed approach, the models were trained using varying portions of the dataset, ranging from 10% to 90% of the total data. The average Mean Squared Error (MSE) for each model was measured on test set and is presented in Figure 3.

The results show that the ensemble model consistently achieves the lowest average MSE across all training set sizes. While the performance of Linear Regression and Ridge Regression improves as the training data size increases, their error rates remain higher compared to the ensemble model. Notably, the ensemble model maintains its superiority even when trained on smaller portions of the dataset, demonstrating its ability to generalize effectively to unseen data.

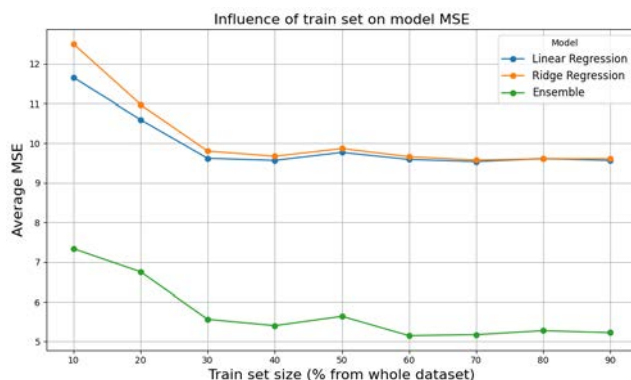


Fig. 3. Influence of train set on model MSE

These results indicate that the ensemble approach is not only more accurate but also more robust when training data is limited. This highlights its potential for achieving reliable predictions while mitigating the risk of overfitting, regardless of the amount of training data available.

Model interpretability. SHAP value plots were generated to evaluate the interpretability of the ensemble model and compare it with other multi-output models, including Linear Regression and Ridge Regression, for both outputs Y1 and Y2. The results are displayed in Figure 4 and allow us to understand the importance of features and their impact on model predictions.

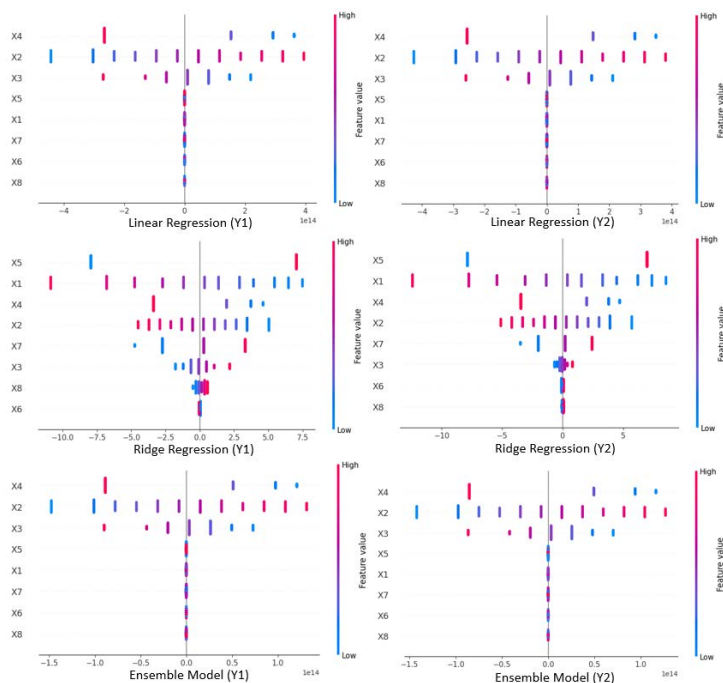


Fig. 4. SHAP values for each model and output

The SHAP value plots reveal that features X4, X2, and X1 are the most influential for predicting both outputs Y1 and Y2 across all models. Ridge Regression, compared to Linear Regression, reduces the magnitude of SHAP values, demonstrating that regularization effectively limits the dominance of individual features and enhances model stability.

Although the SHAP values for the ensemble model narrower around zero than those for Linear Regression, they exhibit a wider distribution of feature impacts compared to Ridge Regression. This emphasizes the role of regularization in improving stability. Despite its more complex structure, the ensemble model remains as interpretable with SHAP as the simpler models, making it both powerful and transparent.

Sensitivity to parameters: to evaluate the sensitivity of the ensemble model to its parameters, a heatmap was constructed to illustrate the influence of λ and depth on the model's Mean Squared Error (MSE), as shown in Figure 5.

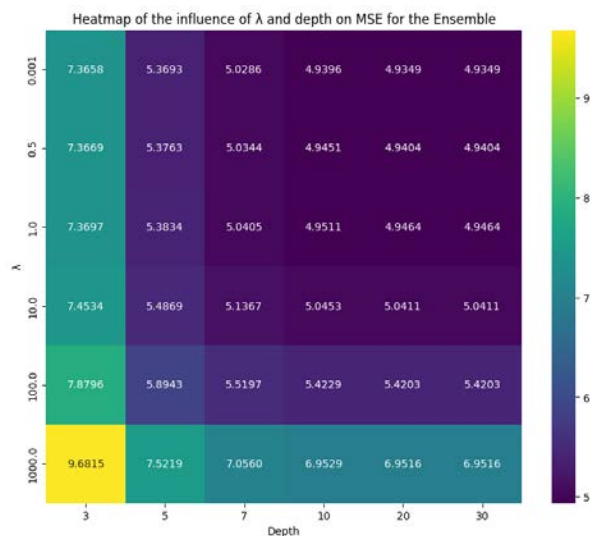


Fig. 5. Heatmap of the influence of λ and depth on MSE for the Ensemble model

The results demonstrate that the ensemble model maintains a high degree of stability across a wide range of λ and depth values. In most cases, the MSE remains consistently low, particularly as the depth increases, even when regularization strength (λ) varies significantly. While extreme values of λ (e.g., 1000) result in slightly higher MSE, the performance remains competitive and does not degrade below the levels observed previously in other models. Overall, the ensemble model achieves robust and stable performance, balancing regularization and complexity effectively. The observed stability at lower depths confirms that pruning the model is a useful strategy to reduce computational cost while preserving accuracy.

Conclusions. This study demonstrates the effectiveness of multi-output regression models for predicting the state of multi-component systems under conditions of limited data and high variability. The proposed risk minimization methods, such as multi-objective optimization, parameter regularization, and consideration of different time scales, contribute to improving model robustness to noise and enhancing prediction accuracy. The use of ensemble approaches allows for the integration of sub-model

results, ensuring model adaptability to changing conditions and improving their generalization ability. Key challenges, such as conflicting optimization objectives, the risk of overfitting, and the complexity of interpretation, have been identified and require further research and refinement. The presented results have practical significance for the automation of complex system management across various fields, including engineering, economics, and medicine.

BIBLIOGRAPHY:

1. Jin X., Zhang J., Su T., Bai Y., Kong J., Wang X. Modeling and analysis of data-driven systems through computational neuroscience wavelet-deep optimized model for nonlinear multicomponent data forecasting. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/8810046>
2. Симонов Д. І., Заїка Б. Ю. Моделювання управління складними інформаційними багатокомпонентними системами. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика»*. 2024. Вип. 44(1). С. 168–174. URL: [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44\(1\).168-174](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44(1).168-174)
3. Daraghme M., Agarwal A., Jararweh Y. Optimizing serverless computing: A comparative analysis of multi-output regression models for predictive function invocations. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2024. Vol. 134. Article 102925. URL: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102925>
4. Emami S. S., Martínez-Muñoz G. Deep learning for multi-output regression using gradient boosting. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 17760–17772. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3359115>
5. Salehi F., Abbasi E., Hassibi B. The impact of regularization on high-dimensional logistic regression. *ArXiv*. 2019. Vol. abs/1906.03761. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.03761>
6. Tan C., Chen S., Ji G., Geng X. Multilabel distribution learning based on multioutput regression and manifold learning. *IEEE Transactions on Cybernetics*. 2020. Vol. 52. P. 5064–5078. URL: <https://doi.org/10.1109/TCYB.2020.3026576>
7. Khodarahmi M., Maihami V. A review on Kalman filter models. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2022. Vol. 30. P. 727–747. URL: <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09815-7>
8. Guo L., Chen W., Liao Y., Liao H., Li J. Y. An edge-preserved image denoising algorithm based on local adaptive regularization. *Journal of Sensors*. 2016. Vol. 2016. Article ID 2019569:1–2019569:6. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/2019569>
9. Tanaka G., Matsumori T., Yoshida H., Aihara K. Reservoir computing with diverse timescales for prediction of multiscale dynamics. *Physical Review Research*. 2022. Vol. 4, Iss. 3. Article L032014. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.L032014>
10. Петрик Б. В., Неласа Г., Дубровін В. Аналіз часових послідовних потоків даних мережевого трафіку на основі вейвлет-перетворення. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2020. Т. 3, № 1. С. 168–177. URL: <https://doi.org/10.32782/2618-0340/2020.1-3.17>
11. Salih A. M., Raisi-Estabragh Z., Galazzo I. B., Radeva P., Petersen S. E., Lekadir K., Menegaz G. A perspective on explainable artificial intelligence methods: SHAP and LIME. *Advanced Intelligent Systems*. 2024. Article 2400304. URL: <https://doi.org/10.1002/aisy.202400304>
12. Wu Y., Zhou Y. Prediction and feature analysis of punching shear strength of two-way reinforced concrete slabs using optimized machine learning algorithm and Shapley additive explanations. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2023. Vol. 30. P. 3086–3096. URL: <https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2068209>
13. Shin J. Feasibility of local interpretable model-agnostic explanations (LIME) algorithm as an effective and interpretable feature selection method: comparative

fNIRS study. *Biomedical Engineering Letters*. 2023. Vol. 13. P. 689–703. URL: <https://doi.org/10.1007/s13534-023-00291-x>

14. Symonov D., Symonov Y. Methods for selecting models of functioning of multicomponent information and environmental systems. *Scientific Journal «Mathematical Modeling»*. 2024. Vol. 1, No 50. P. 57–63. URL: [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(50\)2024.304943](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(50)2024.304943)

15. Симонов Д. І. Метод ентропії як інструмент оптимізації складних систем. *Журнал обчислювальної та прикладної математики*. 2024. № 1. С. 49–58. URL: <https://doi.org/10.17721/2706-9699.2024.1.04>

16. Do N., Hoang V., Doan V. A novel non-profiled side channel attack based on multi-output regression neural network. *Journal of Cryptographic Engineering*. 2023. Vol. 14. P. 427–439. URL: <https://doi.org/10.1007/s13389-023-00314-4>

17. Li C., Rakitsch B., Zimmer C. Safe active learning for multi-output Gaussian processes. *ArXiv*. 2022. Vol. abs/2203.14849. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.14849>

18. Park M., Choi Y., Lee N., Kim D. SpReME: Sparse regression for multi-environment dynamic systems. *ArXiv*. 2023. Vol. abs/2302.05942. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.05942>

19. Choe B., Kang T., Jung K. Recommendation system with hierarchical recurrent neural network for long-term time series. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 72033–72039. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079922>

20. Zhou X., Zhai N., Li S., Shi H. Time series prediction method of industrial process with limited data based on transfer learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2023. Vol. 19. P. 6872–6882. URL: <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3191980>

21. Wang C., Chen X., Wu C., Wang H. AutoTS: Automatic time series forecasting model design based on two-stage pruning. *ArXiv*. 2022. Vol. abs/2203.14169. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.14169>

22. Tsanas A., Xifara A. Energy efficiency [Dataset]. *UCI Machine Learning Repository*. 2012. URL: <https://doi.org/10.24432/C51307>

REFERENCES:

1. Jin, X., Zhang, J., Su, T., Bai, Y., Kong, J., & Wang, X. (2021). Modeling and Analysis of Data-Driven Systems through Computational Neuroscience Wavelet-Deep Optimized Model for Nonlinear Multicomponent Data Forecasting. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/8810046>

2. Symonov, D. I., & Zaika, B. Y. (2024) Modelling the management of complex information multicomponent systems. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series 'Mathematics and Informatics'*, 44(1), 168-174. URL: [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44\(1\).168-174](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.44(1).168-174) [in Ukrainian].

3. Daraghme, M., Agarwal, A., & Jararweh, Y. (2024). Optimizing serverless computing: A comparative analysis of multi-output regression models for predictive function invocations. *Simul. Model. Pract. Theory*, 134, 102925. URL: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102925>

4. Emami, S.S., & Martínez-Muñoz, G. (2024). Deep Learning for Multi-Output Regression Using Gradient Boosting. *IEEE Access*, 12, 17760-17772. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3359115>

5. Salehi, F., Abbasi, E., & Hassibi, B. (2019). The Impact of Regularization on High-dimensional Logistic Regression. *ArXiv*, abs/1906.03761. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.03761>

6. Tan, C., Chen, S., Ji, G., & Geng, X. (2020). Multilabel Distribution Learning Based on Multioutput Regression and Manifold Learning. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 52, 5064-5078. URL: <https://doi.org/10.1109/TCYB.2020.3026576>

7. Khodarahmi, M., & Maihami, V. (2022). A Review on Kalman Filter Models. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30, 727-747. URL: <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09815-7>

8. Guo, L., Chen, W., Liao, Y., Liao, H., & Li, J.Y. (2016). An Edge-Preserved Image Denoising Algorithm Based on Local Adaptive Regularization. *J. Sensors*, 2016, 2019569:1-2019569:6. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/2019569>
 9. Tanaka, G., Matsumori, T., Yoshida, H., & Aihara, K. (2022). Reservoir computing with diverse timescales for prediction of multiscale dynamics. *Physical Review Research*, 4(3), L032014. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.L032014>
 10. Petryk, B. V., Nelasa, G., & Dubrovin, V. (2020). Analysis of time sequential network traffic data streams based on wavelet transform. *Applied issues of mathematical modelling*, 3(1), 168-177. URL: <https://doi.org/10.32782/2618-0340/2020.1-3.17> [in Ukrainian].
 11. Salih, A. M., Raisi-Estabragh, Z., Galazzo, I. B., Radeva, P., Petersen, S. E., Lekadir, K., & Menegaz, G. (2024). A perspective on explainable artificial intelligence methods: Shap and lime. *Advanced Intelligent Systems*, 2400304. URL: <https://doi.org/10.1002/aisy.202400304>
 12. Wu, Y., & Zhou, Y. (2023). Prediction and feature analysis of punching shear strength of two-way reinforced concrete slabs using optimized machine learning algorithm and Shapley additive explanations. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 30, 3086 – 3096. URL: <https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2068209>
 13. Shin, J. (2023). Feasibility of local interpretable model-agnostic explanations (LIME) algorithm as an effective and interpretable feature selection method: comparative fNIRS study. *Biomedical Engineering Letters*, 13, 689 – 703. URL: <https://doi.org/10.1007/s13534-023-00291-x>
 14. Symonov, D., Symonov, Y. (2024). Methods for selecting models of functioning of multicomponent information and environmental systems. *Scientific Journal «Mathematical Modeling»*, Vol. 1, No 50, P. 57-63. URL: [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(50\)2024.304943](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(50)2024.304943)
 15. Symonov D.I. (2024). Entropy method as a tool for optimising complex systems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, No. 1, pp. 49-58. URL: <https://doi.org/10.17721/2706-9699.2024.1.04> [in Ukrainian]
 16. Do, N., Hoang, V., & Doan, V. (2023). A novel non-profiled side channel attack based on multi-output regression neural network. *J. Cryptogr. Eng.*, 14, 427-439. URL: <https://doi.org/10.1007/s13389-023-00314-4>
 17. Li, C., Rakitsch, B., & Zimmer, C. (2022). Safe Active Learning for Multi-Output Gaussian Processes. *ArXiv, abs/2203.14849*. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.14849>
 18. Park, M., Choi, Y., Lee, N., & Kim, D. (2023). SpReME: Sparse Regression for Multi-Environment Dynamic Systems. *ArXiv, abs/2302.05942*. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.05942>
 19. Choe, B., Kang, T., & Jung, K. (2021). Recommendation System With Hierarchical Recurrent Neural Network for Long-Term Time Series. *IEEE Access*, 9, 72033-72039. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3079922>
 20. Zhou, X., Zhai, N., Li, S., & Shi, H. (2023). Time Series Prediction Method of Industrial Process With Limited Data Based on Transfer Learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19, 6872-6882. URL: <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3191980>
 21. Wang, C., Chen, X., Wu, C., & Wang, H. (2022). AutoTS: Automatic Time Series Forecasting Model Design Based on Two-Stage Pruning. *ArXiv, abs/2203.14169*. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.14169>
 22. Tsanas, A. & Xifara, A. (2012). Energy Efficiency [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. URL: <https://doi.org/10.24432/C51307>.
-

УДК 681 /324

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.13>

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДИСЦИПЛІНИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАЯВОК У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Сімоненко А. В. – старший викладач кафедри обчислювальної техніки
Національного технічного університету України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0003-4056-1753

У статті розглядаються підходи та найпоширеніші дисципліни обслуговування заявок (алгоритми вибору заявки для виділення часу на процесорі. Дано класифікацію алгоритмів планування. Виділено пріоритетні та безпріоритетні дисципліни. Представлені алгоритми обслуговування як з одною чергою, так і кількома чергами. Показано переваги та недоліки представлених дисциплін, а також особливості їх застосування. З представленого аналізу можна зробити висновки, що всі описані алгоритми виконують планування у часі так як орієнтовані на обчислювальну середовище з одним процесором. Однак необхідно враховувати, що сучасні обчислювальні системи обробки інформації мають характеристики притаманні розподіленим системам. Особливість сучасних систем полягає в тому, що безлічі заявок середовище виконання (обчислювальні ресурси) може надавати безліч ресурсів одночасно. В них як обчислювальні ресурси, так і завдання розподілені у просторі. Крім цього завдання та ресурси можуть мати характеристики однородності і неоднорідності. За таких характеристик дисципліни, призначені для однопроцесорних систем, не можуть бути використані для розподілених систем обробки інформації. У таких системах планувальник має інформацію про безліч заявок, що вимагають обслуговування, як і у відомих системах обслуговування та інформацію про безліч ресурсів, які мають можливість обслуговувати заявки. До цього планувальник має інформацію про вимоги кожної заявки до передбачуваного ресурсу. Крім того, планувальник має інформацію про характеристики кожного ресурсу.

Така інформація про заявки та ресурси може дозволити планувальнику забезпечити оптимальне розподілення заявок на ресурси, враховуючи особливості вимог заявок та характеристик ресурсів. Таким чином у розподіленій системі обробки інформації потрібен новий підхід до проектування нових типів планувальників – тобто, просторових планувальників. У статті подано теоретичне обґрунтування нового підходу для вибору та практики просторового планувальника. У статті показано, що відносини заявка-ресурс у розподілених системах можна уявити у вигляді дводольного графа. А задача розподілу заявки на ресурс зводиться до задачі пошуку максимального паросполучення у зваженому чи незваженому дводольному графі.

Ключові слова: планування, диспетчеризація, складання розкладу, розподілені системи.

Simonenko A. V. Justification for choosing a discipline for servicing requests in distributed information processing systems

The article examines approaches and the most common application service disciplines (algorithms for application selection for allocating time on the processor. The classification of scheduling algorithms is given. Priority and non-priority disciplines are distinguished. Service algorithms with both one queue and several queues are presented. The advantages and disadvantages of the presented disciplines, as well as the peculiarities of their application, are shown. From the presented analysis, it can be concluded that all the described algorithms perform planning in time, as they are focused on a computing environment with one processor. However, it is necessary to take into account that modern computing systems of information processing have characteristics inherent in distributed systems. The peculiarity of modern systems is that the execution environment (computing resources) can provide many resources simultaneously for many applications. In them, both computing resources and tasks are distributed in space. Such features are characteristic of global GRID and CLOUD information processing systems. In addition, tasks and resources can have characteristics of homogeneity and heterogeneity. With such characteristics, the disciplines intended for single-processor systems cannot be used for distributed information processing systems. In such systems, the scheduler has information about

the number of requests requiring service, as in known service systems, and information about the number of resources that have the ability to service the requests. Before this, the scheduler has information about the requirements of each application for the intended resource. In addition, the scheduler has information about the characteristics of each resource.

Such information about requests and resources can allow the scheduler to provide optimal re-allocation of requests for resources, taking into account the specifics of the request requirements and resource characteristics. Thus, a new approach to the design of new types of planners is needed in a distributed information processing system – that is, spatial planners. The article presents a theoretical rationale for a new approach to the selection and practice of a spatial planner. The article shows that application-resource relations in distributed systems can be represented in the form of a bipartite graph. And the task of distributing the request for a resource is reduced to the task of finding the maximum pairing in a weighted or unweighted bipartite graph.

Key word: planning, dispatching, scheduling, distributed systems.

Вступ. Ефективність роботи обчислювальної системи залежить не тільки від власної ефективності алгоритмів обробки інформації і технічних характеристик обчислювальної системи, але і від прийнятих в системі правил виконання робіт, прийому і обробки запитів користувачів.

Ефективність методів обслуговування визначається можливістю затримки або втрати заявки до обробки, а також часом знаходження заявки в системі. Залежно від типу системи управління і диспетчеризації, затримка заявок може враховуватися по загальному середньому часу затримки або по допустимому часу очікування.

Під час вивчення дисциплін обслуговування заявок передбачається, що процеси введення і обслуговування є незалежними. Заявка, яка поступає в систему, починає обслуговуватися негайно, якщо у цей момент ресурс для її обслуговування вільний. Якщо ресурс зайнятий обслуговуванням попередніх заявок, тоді залежно від типу заявки, яка поступила, і прийнятого в системі правила (дисципліни) обслуговування, заявка, що тільки що поступила, може чекати свою чергу або перервати заявку, яка виконується. У разі переривання заявки передбачається, що вона повертається в чергу, де вона чекатиме продовження перерваного обслуговування. Тривалість перебування кожної заявки у обчислювальній системі складається з часу очікування заявки і часу обслуговування машиною.

Розподіл заявок між ресурсами, які їх виконують і котрі є в наявності носить назву **планування або диспетчеризація**. Одним із методів планування, орієнтованих на захоплення ресурсу, є метод черг. Нові заявки знаходяться у вхідній черзі, що часто зветься чергою робіт – завдань (**job queue**) та очікують звільнення ресурсу.

Аналіз алгоритмів планування та вибору заявки на виконання

Розрізняють два типи дисциплін обслуговування – **без пріоритетні** та **пріоритетні**.

У разі дисциплін без пріоритетів заявки різних типів не мають наперед встановлених пріоритетів для обслуговування і вважаються при вході в систему рівно пріоритетними. При реалізації **пріоритетних** дисциплін обслуговування окремим задачам надається привілейоване право переходу в стан виконання. Пріоритет присвоєний задачі, може бути величиною постійною, або може змінюватись в процесі її розв'язання. У деяких системах вводяться класи пріоритетів (частково впорядковані системи пріоритетів). Це як правило робиться за рахунок організації декількох черг для кожного класу. Ресурс буде представлений в першу чергу тим заявкам, котрі знаходяться в черзі (класі) з найбільш високим пріоритетом.

Витісняючи та не витісняючи алгоритми диспетчеризації

Диспетчеризація без перерозподілу процесорного часу в час виконання заявки це є **не витісняюча багатозадачність (відносний пріоритет ВП)** – це

такий спосіб диспетчеризації при якому активний процес виконується до тих пір поки він сам не віддасть управління диспетчеру задач для вибору із черги іншого готового до виконання процесу. При не витісняючий багатозначності механізм розподілу процесорного часу розподілений між системою та прикладними програмами. Диспетчеризація з перерозподілом процесорного часу між задачами є *витісняючою багатозадачністю (абсолютний пріоритет АП)*. Це такий спосіб при якому рішення про переключення процесору з виконання одного процесу на виконання іншого приймається диспетчером задач. При витісняючий багато задачності механізм диспетчеризації задач цілком зосереджений в операційній системі і програміст може писати своє програмне забезпечення не турбуючись про те, як воно буде виконуватись разом з іншими задачами. При цьому ОС виконує наступні функції: визначає момент зняття з виконання поточної задачі, зберігає її контекст; вибирає з черги готових задач наступну і запускає її на виконання наперед завантаживши її контекст.

Для однопроцесорних, а часто и для багатопроцесорних систем використовуються наступні дисципліни:

- *Перший прийшов – перший обслуговується (first IN– first OUT (FIFO))* [1].

Алгоритм обслуговування черг Firstin, Firstout (FIFO), також званий First Come First Served є найбільш простою стратегією планування процесів і полягає в тому, що ресурс передається тому процесу, котрий раніше всіх інших звернувся до нього. Коли процес потрапляє в чергу готових процесів, process control block приєднується до хвоста черги. Середній час очікування для стратегії FIFO є часто досить великим і залежить від порядку надходження процесів в чергу готових процесів. Стратегії FIFO притаманний так званий «ефект конвою». В тому випадку, коли в комп'ютері є один великий процес та декілька малих, то всі процеси збираються на початку черги готових процесів, а згодом в черзі до обладнання. Таким чином, «ефект конвою» призводить до зниження пропускної здатності як процесору, так і периферійного пристрою.

– Обслуговування в зворотному напрямку зветься LIFO – (last in – first out) і має тіж самі недоліки як і FIFO [1].

- *Стратегія – найбільш коротка робота (SHORTEST JOB FIRST – (SJF))* [2].

SJF – Shortest Job First. Одним із методів боротьби з «ефектом конвою» є стратегія, котра дозволяє заявці із черги виконуватися першою.

Найбільша складність у практичній реалізації SJF полягає в неможливості наперед визначити величину часу наступного обслуговування. Тому стратегія SJF часто застосовується в довгострокових (статичних) планувальниках, що обслуговують пакетний режим.

- *Пріоритетне обслуговування черг (PQ)* [3].

Ця стратегія передбачає, що кожному процесу надається пріоритет, що визначає черговість надання йому CPU. Наприклад, стратегія FIFO передбачає, що всі процеси мають однакові пріоритети, а стратегія SJF передбачає, що пріоритет є величина, зворотна часу наступного обслуговування. Головний недолік пріоритетного планування полягає у можливості блокування на невизначено довгий строк низько пріоритетних процесів.

- *Планування з використанням багаторівневої черги. (Multilevel scheduling queue – MQS).* [5]

Ця стратегія розроблена для систем, коли заявки можуть бути легко класифіковані на декілька груп, наприклад, часто заявки розділяють на дві групи: інтерактивні (процеси переднього плану) і пакетні (фонові).

Стратегія багаторівневої черги розділяє чергу готових процесів на декілька черг, в кожній з котрих знаходяться процеси з однаковими властивостями, і кожен із котрих може плануватися індивідуальною стратегією, наприклад Round Robin стратегія для інтерактивних процесів і FIFO для пакетних процесів

– **Планування з використанням багаторівневої черги з зворотними зв'язками. (MFQS (multilevel feedback queue scheduling) [6].**

Звичайна багаторівнева черга не допускає переміщення заявки між чергами. Багаторівнева черга з зворотними зв'язками передбачає, що заявки при певних умовах можуть переміщатися між чергами. Розглянута стратегія є найбільш універсальною і поєднує в собі властивості всіх розглянутих раніше стратегій: FIFO, SJF, пріоритетна, Round Robin, багаторівнева черга.

– **Алгоритм Корбатто [7]**

Вважається, що тривалість виконання програми приблизно пропорційна її довжині. Принаймні, від довжини програми прямо залежить час, що витрачається на передачу програми між ОЗУ і зовнішнім ЗУ при її активзації.

Визначення номера черги, в яку поступає програма при первинному завантаженні, здійснюється по алгоритму планування Корбатто: програма відразу поступає в чергу $i = \lceil \log_2 l_p / l_{tk} + 1 \rceil$, де l_p – довжина програми в байтах; l_{tk} – число байт, які можуть бути передані між ОЗУ і зовнішньою пам'яттю за час t_k . Ця дисципліна дозволяє скоротити кількість системних перемикачів за рахунок того, що програмам, що вимагають більшого часу рішення, надаватимуться чималі кванти часу вже при першому занятті ними ресурсу.

– **FBn системи [8]**

(Foreground Background). Алгоритм має N черг. Вхідний потік заявок поступає в першу чергу. Із черг заявки поступають на виконання. Якщо заявка за відведений квант часу не встигла завершитися, то вона повертається в чергу $i+1$, де i – черга з якої заявка була взята. З найбільш високим пріоритетом черга № 1. Черга i обслуговується, якщо порожні всі черги котрі менші за i . Квант часу для заявки визначається по формулі $2i-1$, заявка з останньої черги обслуговується стільки часу, скільки їй необхідно до завершення.

– **«Карусельна» стратегія планування (RR-Round Robin) [9].**

Round Robin це стратегія, коли для обслуговування визначається невеликий відрізок часу, що зветься квантом часу (10..100 мс). Черга готових заявок розглядається як кільцева. Заявки циклічно переміщаються по черзі, отримуючи CPU на деякий час, що рівний одному кванту. Новий процес додається у хвіст черги. Якщо процес не завершився в межах виділеного йому кванту часу, то його робота примусово переривається, і він переміщується в хвіст черги. Властивості Round Robin стратегії дуже залежать від величини часового кванту q . Чим більший часовий квант, тим більше Round Robin стратегія наближається до FIFO стратегії (для розглянутого прикладу, якщо $q > 24$ мс, то $\rightarrow$ FIFO).

– **Алгоритм PSJF [9].**

Алгоритм PSJF (preemptive SJN -SJN з витісненням) – поточний активний процес переривається, якщо його час, що залишився виконання більше, ніж у ново-прибулого процесу. Алгоритм забезпечує ще більшу перевагу коротким процесам перед довгими. Зокрема, в ній усувається те зростання штрафних показників для найкоротших процесів, яке має місце в SJN

– **Алгоритм RRSJF [9]**

Модифікація алгоритму RR з переупорядочивання процесів в черзі відповідно до часом, що залишився виконання

– **Алгоритм HPRN** [9]

Алгоритм HPRN (highest penalty ratio next – з найбільшим штрафним показником -наступний) – алгоритм без витіснення, що забезпечує найкращі показники справедливості. Це досягається за рахунок динамічного перевизначення пріоритетів. Всякий раз при звільненні ЦП для всіх готових процесів обчислюється поточне штрафне відношення

$p[i] = (w[i] + t[i]) / t[i]$ де i -номер процесу; $w[i]$ – час, витрачений процесом на очікування; $t[i]$ -г час виконання процесу, наперед задана або прогнозована. Для щойно найдовшого процесу $p[i] = 1$. ЦП віддається процесу, що має найбільше значення $p[i]$. Для коротких процесів HPRN забезпечує приблизно ті ж показники справедливості, що і SJN, для довгих – ближчі до FCFS. На великому діапазоні середнього часу виконання процесів показники, які забезпечуються HPRN, представляють середнє між SJN і FCFS і слабо залежать від часу виконання. Ще одна перевага HPRN в тому, що в часі очікування може враховуватися (з деякими ваговими коефіцієнтами) і очікування в інших чергах і, таким чином, забезпечується більш повне завантаження системи. Крім того HPRN в часі очікування може враховуватися (з деякими ваговими коефіцієнтами) і очікування в інших чергах і, таким чином, виконується більш повне завантаження систем.

– **Алгоритм SRR** [10]

Алгоритм SRR (selfish RR – егоїстичний RR) – метод з витісненням, що дає додаткової переваги процесам які виконуються, що дозволяє підвищити пропускну здатність. Всі процеси поділяються на дві категорії: нові і ті що вже мали час процесору (вибрані) Новими вважаються ті процеси, які не отримали ще жодного кванта часу ЦП, всі інші процеси – вибрані. При надходженні в систему кожному процесу дається певний пріоритет P_0 , однаковий для всіх процесів, який в подальшому зростає. В кінці кожного кванта часу перераховуються пріоритети всіх процесів, причому пріоритети нових процесів зростають на величину dA , а обраних – на величину dB . ЦП віддається процесу з найвищим пріоритетом, а за рівності пріоритетів – тому, який раніше поставлений в чергу.

– **Алгоритм HLRR** [11]

Алгоритм HLRR ("half-life round-robin"). Алгоритм напіврозпаду є модифікацією алгоритму RR. З кожним i -м процесом пов'язано деякий пріоритетне число $P[i]$. Чим воно менше, тим вище пріоритет процесу. Кожен новий процес отримує деякий початкове значення пріоритетного числа P_0 , однакове для всіх процесів. Крім того, з кожним процесом пов'язаний показник використаного процесорного часу $U[i]$ з вихідним значенням 0. Процес з найменшим значенням $P[i]$ отримує квант часу Q (за однаковим значенням пріоритетних чисел ЦП віддається процесу, який ще довше).

За час кванта інтервальний таймер видає кілька сигналів-переривань з інтервалом dT . За кожним таким переривання лічильник $U[i]$ активного (тільки активного!) Процесу збільшується на 1. Використання ЦП процесом закінчується при закінченні кванта и переході процесу в стан очікування. При цьому модифікуються лічильники процесорного часу всіх (в тому числі і неактивних) процесів: $U[i] = U[i] / 2$ і для всіх процесів переобчислюють пріоритетні числа: $P[i] = P_0 + U[i] / 2$. і модифікується черга очікування процесів.

Розглянуті найбільш відомі дисципліни обслуговування заявок не враховують, що сучасні обчислювальні системи є багатомашинними розподіленими системами. Для таких систем потрібен новий підхід до систем планування та диспетчеризації. При розробці дисциплін обслуговування потрібно враховувати, що

ресурси для призначення заявок розподілені в просторі (GRID, CLOUD системи) і часто є неоднорідними.

Обґрунтування та математична постановка задачі розподілу

в просторовій моделі завдань і ресурсів

У неоднорідній розподіленій системі обробки даних (НРСОД), що складається з N ресурсів, на даний момент $t \in N_t$ вільних ресурсів та M незалежних, готових до виконання завдань.

- Система ресурсів задана графом системи $G_R = (V_R, E_R, W_{ER})$, де
- Безліч вершин $V_R = \{R_1, R_2, \dots, R_N\}$, кожен елемент якого представляє один з N ресурсів системи та $R_i \in N$ (множина натуральних чисел), $i=1..N$.
- Безліч дуг $E_R = \{E_1, E_2, \dots, E_d\}$, кожен елемент якого представляє зв'язок між двома ресурсами $E_i = \{R_i, R_j\}$, де $R_i, R_j \in V_R$ и $0 \leq d \leq N^2$.
- Безліч ваг вершин $W_{VR} = \{WVR_1, WVR_2, \dots, WVR_N\}$, де $WVR_i = \{RE_i, RT_i\}$. Для $\forall i=1..N$, $RE_i \in \mathcal{R}^+$ (безліч позитивних реальних чисел) є характеристика ресурсу $RT_i \in \{0 \text{ и } \mathcal{R}^+\}$ – стан ресурсу.
- Безліч ваг дуг $W_{ER} = \{WER_1, WER_2, \dots, WER_p\}$. Це безліч можна у вигляді деякої матриці $RC = RC[i, j] \in \mathcal{R}^+$, де $i=1..N$ і $j=1..N$.
- Потік M завдань, заданий безліччю $V_J = \{Job_1, Job_2, \dots, Job_M\}$, кожен елемент якого представляє одне з M завдань та $Job_i = \{JN_i, JE_i, JL_i, JM_i, JP_i\}$, $\forall i=1..N$:
- $JN_i \in N$ – є номер завдання,
- $JE_i \in \mathcal{R}^+$ – є обсяг роботи завдання,
- $JL_i = \{(R^1, \phi_1), \dots, (R^q, \phi_q)\}$, де $R^l \in V_R$ – є ресурс, з яким це завдання вимагає обміну даними, $\phi_l \in \mathcal{R}^+$ – обсяг передачі, $l=1..q$, $q \in N$,
- $JM_i = \{0 \text{ или } R^i\}$ – є маска завдання, де $R^i \in V_R$ – номер ресурсу, на якому бажано виконувати дане завдання,
- $JP_i \in \mathcal{R}^+$ – є пріоритетом цього завдання.

Визначення 1: Γ є відображення безлічі завдань $V_J = \{Job_1, Job_2, \dots, Job_M\}$ на множину ресурсів $V_R = \{R_1, R_2, \dots, R_N\}$ графа системи $G_R = (V_R, E_R, W_{VR}, W_{ER})$, якщо результат відображення $\Gamma(V_J, V_R) \in$ кілька $A: A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, де $a_i = (R^i, J^i)$, $R^i \in V_R$, $J^i \in V_J$, $i=1..n$, $n \in N$.

Позначимо $AR = \{R^1, R^2, \dots, R^n\}$, $AJ = \{J^1, J^2, \dots, J^n\}$. Отже, $|A| = |AR| \cap |AJ|$, $AR \subseteq V_R$, $AJ \subseteq V_J$.

Визначення 2: відображення Γ є розподіл завдань V_J на ресурси V_R , якщо його результат $\Gamma(V_J, V_R) = A$, де $A = \{(R^1, J^1), (R^2, J^2), \dots, (R^n, J^n)\}$ задовольняє наступній умові: $\forall i=1..n$, $R^i \notin AR \setminus R^i$, $J^i \in AJ \setminus J^i$, где $AR = \{R^1, R^2, \dots, R^n\}$, $AJ = \{J^1, J^2, \dots, J^n\}$. Розміром цього розподілу $\Gamma(V_J, V_R)$ є число n . Тоді $\Gamma(V_J, V_R) \rightarrow A$, $n = |A|$.

Визначення 3: результат розподілу завдань на ресурсах $A = \Gamma(V_J, V_R)$ називається розкладом для даного розподілу Γ . Пара $a_i = (R^i, J^i)$, $i=1..n$ називається призначенням ресурсу $J^i \in V_J$ на завдання $R^i \in V_R$.

Визначення 4: нехай $X = \{A^1, A^2, \dots, A^z\}$, $z \in N$ – є множина результатів усіх можливих розподілів для безлічі завдань V_J та для безлічі ресурсів V_R . Тоді $\Gamma(V_J, V_R) \equiv X$. Розподіл завдань на ресурсах $\Gamma(V_J, V_R) \rightarrow A^*$ є максимальним розподілом для даних безлічі завдань V_J та безлічі ресурсів V_R якщо:

- 1) $n^* = |A^*|$;
- 2) $n^* = \max\{|A^1|, |A^2|, \dots, |A^z|\}$.

Визначення 5: нехай Δ є деяка функція від призначення $a_s = (R^s, J^s)$ (тобто призначення завдання J^s на ресурс R^s , $R^s \in V_R$ и $J^s \in V_J$). Тоді $\Delta(a_s) = \Phi$ або $\Phi = \Delta(R^s, J^s)$ та $\Phi_i = \Delta(a_i) = \Delta(R^i, J^i)$, де $i=1..n$ назвемо вагою призначення $a_i = (R^i, J^i)$ за Δ .

Визначення 6: суму ваг усіх призначень $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ назвемо вагою $D(A)$ розкладу A . Тобто: $D(A) = \sum_{i=1}^n D(a_i)$.

Визначення 7: нехай $X_m = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, $m \in \mathbb{N}$, є безліччю всіх максимальних розподілів для безлічі завдань V_j та для множини ресурсів V_R . Тоді розклад $A^* = \Gamma(V_j, V_R)$ – оптимальний розклад розподілу (завдань V_j на ресурсах V_R) Γ за виміром Δ , якщо A^* задовольняє наступним умовам:

1) $A^* = \{(R^1, J^1), (R^2, J^2), \dots, (R^n, J^n)\}$ є результатом максимального розподілу даних безлічі завдань V_j і безлічі ресурсів V_R , тобто $|A^*| = \max\{|A^1|, |A^2|, \dots, |A^z|\}$ (Визначення 5).

2) Вага розкладу $A^* = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ була максимальною з $X_m = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, тобто:

$$D(A^*) = \sum_{j=1}^n D(A_j^*) = \max\{D(A_1), D(A_2), \dots, D(A_m)\} = \max\{D(A_j)\}$$

Вимога: потрібно знайти оптимальне (вага за заданою функцією Δ) розклад $A = \{(R^1, J^1), (R^2, J^2), \dots, (R^n, J^n)\}$, $n \in \mathbb{N}$ максимального розподілу Γ (за визначенням 7) для N_r вільних ресурсів (V_R) та M готових до виконання завдань (V_j).

Визначення оптимального розподілу

– Безліч N_r ресурсів $V_R = \{R_1, R_2, \dots, R_{N_r}\}$ і M завдань $V_j = \{J_1, J_2, \dots, J_M\}$ можна представляти як безліч вершин деякого графа G . Тоді безліч неорієнтованих дуг $E = \{E_1, E_2, \dots, E_d\}$ між вершинами графа G відповідає безлічі призначень завдання J^* на ресурсі R^* (приклад графа для 6 ресурсів і 6 завдань на рис. 1). Дуга $E_k = \{R_i, J_j\}$, де $R_i \in V_R$ і $J_j \in V_j$, $k=1..d$, $0 \leq d \leq N_r \times M$, між вершинами J_j та R_i існує тільки тоді, коли призначення завдання J_j на ресурсі R_i є «неможливим», тобто коли $\delta_{ij} \leq \delta_0$, де δ_0 є деяке задане число (у даному прикладі $\delta_0=1$),

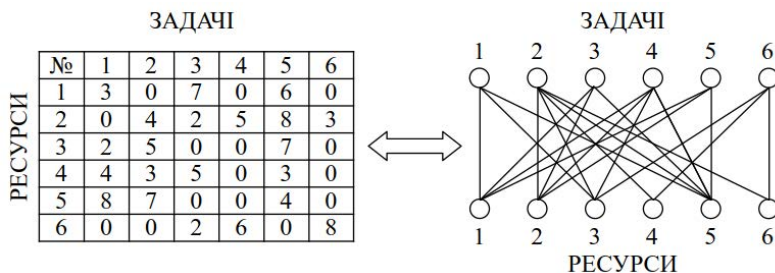


Рис. 1. Варіанти представлення відношення задачі – ресурси

Тоді, виконання другого етапу є задача призначення. Існує кілька методів для вирішення завдання призначення для зваженого дводольного графа

$$G = (V_R, V_j, E, WE):$$

де, $V_R = \{R_1, R_2, \dots, R_{N_r}\}$ і $V_j = \{J_1, J_2, \dots, J_M\}$,

$E = \{E_1, E_2, \dots, E_d\}$, $E_k = \{R^*, J^*\}$,

де $R^* \in V_R$ і $J^* \in V_j$, $k=1..d$, $0 \leq d \leq N_r \times M$.

$WE = \{WE_1, WE_2, \dots, WE_d\}$, $WE_k = \Delta(E_k)$, де $k=1..d$, $0 \leq d \leq N_r \times M$.

Розв'язання задачі призначення для графа розміром $N_r \times M$, де $N_r \neq M$ наводиться до розв'язання задачі призначення для графа розміром $N \times N$, де $N = \max\{N_r, M\}$. Розв'язання задачі призначення для зваженого графа G можна привести до вирішення задачі призначення для незваженого графа G' отриманого з графа G зняттям ваги всіх дуг.

Завдання призначення для даного випадку зводиться до вирішення задачі пошуку максимального паросполучення для зваженого або незваженого дводольного графа.

Завдання призначення у такій постановці вирішується у багатьох прикладних програмах. На вибір способу та алгоритму рішення впливає часова складність, т.к. час вирішення завдань планування, особливо при динамічному плануванні, є основним критерієм, навіть на шкоду якості одержуваного рішення. Як було зазначено, т.к. більшість завдань оперативної диспетчеризації чи динамічного планування можна звести до завдання пошуку максимального паросполучення, доцільно виконання порівняльного аналізу відомих алгоритмів з урахуванням єдиного критерію. Найбільш прийнятним критерієм є часова складність алгоритму, що дозволяє оцінити зміну часу вирішення задачі від розмірності, що є істотним для паралельних систем. Найчастіше використовувані підходи до вирішення цієї задачі це:

- пошук максимального потоку в мережі
- пошук максимального паросполучення.

Завдання про максимальний потік є одним із найбільш фундаментальних завдань у теорії потоків у мережах. Вперше це завдання було сформульовано Фалкерсоном і Данцингом 1955 року, а алгоритм її точного рішення описаний Фордом і Фалкерсоном 1956 року [12], з допомогою їх відомого алгоритму збільшуючого шляху. З того часу багато дослідників намагалися зменшити часову складність запропонованого Фордом та Фалкерсоном алгоритму і з'явилося безліч алгоритмів для вирішення цього завдання.

Завдання формулюється наступним чином. Для заданого графа $G=(V,E)$ потрібно знайти безліч ребер $M \subseteq E$ максимальної потужності, таке, що жодні два ребра M не мають загальних кінцевих вершин. Таке формулювання завдання пошуку максимального паросполучення справедливе для незваженого графа. В іншому варіанті дані також ваги ребер і метою розв'язання задачі є знаходження паросполучення, що має найбільшу сумарну вагу. Обидві завдання викликали великий інтерес дослідників останні три десятиліття. Вони легко формулюються, апелюють до інтуїції та мають багато додатків. Ряд книг, що містять найповніший виклад питань, пов'язаних із завданням про паросполучення, написали: Форд і Фалкерсон, Берж, Пападимитріу і Стайгліц, Кофман, Липський, Харарі, Оре. Як у незваженому, і у зваженому варіантах задачі про паросполучення, ці питання значно спрощуються, якщо аналізований граф є дводольним. Відомі алгоритми пошуку максимального паросполучення засновані на теоремі Кеніга-Холла і теоремі Бержа [13]. Відповідно до теорії Бержа – «паросполучення M у графі G максимально тоді і тільки тоді, коли не існує збільшується шляху щодо M ». Це призводить до того, що виконуються зайві дії в тих випадках, коли для якогось графа не існує досконалого паросполучення. Такий підхід збільшує часову складність вирішення задачі і потребує нових підходів.

Висновки.

1. Аналіз найпоширеніших дисциплін обслуговування заявок показує непридатність їх до вирішення задачі розподілу заявок за ресурсами в розподілених системах обробки інформації. Таких як глобальні GRID I CLOUD системи.

2. Виконано математичну постановку задачі розподілу заявок на ресурси, коли та заявки та ресурси просторово розподілені.

3. Показано, що в розподілених системах обробки інформації відносини заявка-ресурс можна уявити в вигляді дводольного графа, а розв'язання задачі призначення заявки на ресурс до пошуку максимального паросполучення у зваженому або не зваженому дводольному графі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Z. Sazvara, A novel mathematical model for a multi-period, multi-product optimal ordering problem considering expiry dates in a FEFO system / Z. Sazvara, S. M. J. Mirzapour, K. Govindan, B. Bahlib // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Elsevier, 2016. Т. 93, Вип. September. С. 232-261.
2. Nathaniel Brooks, Shortest-Job-First (SJF): Preemptive, Non-Preemptive Example, [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.guru99.com/shortest-job-first-sjf-scheduling.html>.
3. Організація черг процесів та ресурсів, Черновицький національний університет ім. Ю. Федьковича, конспект лекцій, [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5465773/page:29/>
4. Guowang Miao, Fundamentals of Mobile Data Networks / Guowang Miao, Jens Zander, Ki Won Sung, and Ben Slimane – Cambridge University Press, ISBN 1107143217, 2016.
5. Multilevel Queue Scheduling Introduction [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.geeksforgeeks.org/>
6. Multilevel Feedback Queue Scheduling (MFQS). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.studytonight.com/operating-system/multilevel-feedback-queue-scheduling>
7. Ю.Е. Лях, Алгоритм Корбатто / Ю.Е. Лях, Ю.Г. Выхованец, С.М. Тетюра. Медицинская информатика: учебное пособие / 7 Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5288133/page:5/>
8. Ruiguo Yu, FBN: Weakly Supervised Thyroid Nodule Segmentation Optimized by Online Foreground and Background / Ruiguo Yu, Shaoqi Yan, Jie Gao, Mankun Zhao // *Ultrasound in Medicine & Biology* Volume 49, Issue 9, September 2023, Pages 1940-1950.
9. Implement CPU scheduling algorithms (FCFS, SJF, RR and PSJF) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://github.com/Offliners/CPU-SCHEDULING-Algorithms>
10. Алгоритми планування процесів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-ukazaniya/Algoritmy-planirovaniya-processov-Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-k-lab-rabote-po-kursu-Sistem-programmirovaniye>
11. ЄВ. Крикун, Математичне та програмне забезпечення для планування задач : магістерська дис.: 121 Інженерія програмного забезпечення, 2019.
12. Стьопкін А.В. АЛГОРИТМ ФОРДА-ФАЛКЕРСОНА / Стьопкін А.В., Плассун Д.А. State Teachers' Training University, Slovians'k, Ukraine, сб. Информатика та методика її викладання, Випуск № 6, 2016.
13. Douglas B. West. Introduction to Graph Theory. 2nd. Pearson Education, Inc., 2001. С. 109–110.

REFERENCES:

1. Z. Sazvara. (2016). A novel mathematical model for a multi-period, multi-product optimal ordering problem considering expiry dates in a FEFO system. *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*. Elsevier. Vol. 93, S. 232-261 [in English].
2. Nathaniel Brooks. (2020). Shortest-Job-First(SJF):Preemptive,Non-Preemptive Example, [Electronic resource]. <https://www.guru99.com/shortest-job-first-sjf-scheduling.html>. [in English].
3. Orhanizatsiya chern protsesiv ta resursiv, (2021). Chernovytsky natsyonal'nyy unyversytet ym. YU. Fed'kovycha, konspekt lektsiy [Organization of queues of processes and resources], [Elektronnyy resurs], Rezhym dostupu: <https://studfile.net/preview/5465773/page:29/> [in Ukrainian].

4. Guowang Miao, (2016). Fundamentals of Mobile Data Networks. Cambridge University Press, ISBN 1107143217 [in English].
5. Multilevel Queue Scheduling Introduction. (2022). <https://www.geeksf>
6. Multilevel Feedback Queue Scheduling (MFQS) (2020) Access mode, <https://www.studytonight.com/operating-system/multilevel-feedback-queue-scheduling>. [in English].
7. Yu.E.Lyakh. (2021). Alhorytm Korbato. [Corbato Algorithm] Medical informatics: textbook / Donetsk National Medical University named after M. Gorky. Access mode: <https://studfile.net/preview/5288133/page:5/> [in Ukrainian].
8. Ruiguo Yu, FBN. (2023). Weakly Supervised Thyroid Nodule Segmentation Optimized by Online Foreground and Background. Ultrasound in Medicine & Biology Volume 49, Issue. Pages 1940-1950 [in English].
9. Implement CPU scheduling algorithms (FCFS, SJF, RR and PSJF). (2019) Access mode: <https://github.com/Offliners/CPU-SCHEDULING-Algorithms> [in English].
10. Process planning algorithms, (2021) [Alhorytmy planuvannyaya protsesiv].– Access mode: [http://repo.ssau.ru/bitstream/ Metodicheskie-ukazaniya/ Algoritmy-planirovaniya-processov-Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-k-lab-rabote -po-kursu-Sistem-programmirovanie](http://repo.ssau.ru/bitstream/Metodicheskie-ukazaniya/Algoritmy-planirovaniya-processov-Elektronnyi-resurs-metod-ukazaniya-k-lab-rabote-po-kursu-Sistem-programmirovanie) [in Ukrainian].
11. EV Krykun. (2019) Matematychno ta prohramne zabezpechennya dlya planuvannya zadach [Mathematical and software for problem planning]: master's thesis: Software engineering [in Ukrainian].
12. Styopkin A.V. (2016). FORD-FULKERSON ALGORITHM. State Teachers' Training University, Sloviansk, Ukraine, Sat. Informatics and its teaching methods, Issue No. 6 [in English].
13. Douglas B. West. (2001). Introduction to Graph Theory. 2nd. Pearson Education, Inc. P. 109–110 [in English].

УДК 004.51

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.14>

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛЕНОГО БРОКЕРУ TRINITY НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН

Твердохліб А. О. – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії

Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

ORCID ID: 0000-0002-6591-2866

Антоненко А. В. – кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри стандартизації і сертифікації сільськогосподарської продукції

Національного університету біоресурсів і природокористування України

ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Останнім часом спостерігається поширене використання протоколів обміну повідомленнями у сучасних системах. Однією із моделей обміну повідомленнями, яка служить для обміну даними та водночас демонструє ефективність використання ресурсів, є модель «публікація-підписка». Проте, системи із такою моделлю мають певні недоліки через використання централізованої архітектури, в якій дані з усіх пристроїв в мережі передаються через центрального брокера. Подібна централізована архітектурна модель обміну повідомленнями схильна до центральної точки відмови. Крім того, організація, яка володіє брокером, матиме можливість підроблювати дані. Стаття покликана дослідити та описати роботу Trinity, що є розподіленим брокером публікації-підписки з незмінністю на основі блокчейну, а також представити реалізацію та отриману у ході дослідження оцінку структури Trinity. Принцип роботи Trinity полягає у поширенні даних, які були опубліковані одним з брокерів у мережі, серед усіх інших брокерів, наявних у мережі. Також розподілені дані зберігаються у незмінному реєстрі з використанням технології блокчейн. Крім того, Trinity виконує смарт-контракти для перевірки даних перед їх збереженням у блокчейні. Використовуючи мережу блокчейну, Trinity може гарантувати сталість, упорядкованість та незмінність за межами довіри. Отримані результати дослідження свідчать, що Trinity використовує мінімальну кількість ресурсів, а використання смарт-контрактів дозволяє заінтересованим сторонам автоматизувати процеси керування даними. На підставі проведеного дослідження можна стверджувати, що Trinity є першою платформою, яка поєднує компоненти технології блокчейну з моделлю обміну повідомленнями «публікація-підписка».

Ключові слова: блокчейн, брокер, багатостороння взаємодія, леджер, смарт-контракт.

Tverdokhlib A. O., Antonenko A. V. Features of trinity distributed broker based on blockchain technology

At a recent time there was a widespread use of messaging protocols in modern systems. One of the messaging models that serves to exchange data and demonstrate resource efficiency at the same time is the publish-subscribe model. However, systems with this model have certain disadvantages due to the use of a centralized architecture, in which data from all devices in the network is transmitted through a central broker. Such a centralized messaging architectural model is prone to a centralized point of failure. In addition, the organization that owns the broker will have the ability to falsify or manipulate the data. This article is intended to describe the work of Trinity, a distributed blockchain-based publish-subscribe broker, as well as present an implementation and evaluation of the Trinity platform based on tracking. The principle of the Trinity robot is based on extensive data published by one of the brokers at the border and all brokers present at the border. Subdivisions of data are also stored in an immutable registry using proprietary blockchain technology. In addition, Trinity is creating smart contracts to verify data before storing it on the blockchain. Based on blockchains, Trinity can guarantee stability, regularity, and immutability across trust boundaries. The results of the study show that Trinity uses a minimal amount of resources, and the use of smart contracts allows interested parties to automate data management processes. At the research stage, it can be confirmed that Trinity is the first platform that combines blockchain technology components with a publish-subscribe exchange model.

Key words: blockchain, broker, multi-stakeholder cooperation, ledger, smart contract.

Вступ. Сучасні програми зазвичай використовують моделі обміну повідомленнями «публікація-підписка» та «запит-відповідь» для обміну даними між кінцевими пристроями, периферійними пристроями та серверами. Модель обміну повідомленнями «запит-відповідь» добре протестована і стандартизована в контексті застосування у мережі Інтернет, але вона не ідеально підходить для систем з обмеженими ресурсами.

Постановка проблеми. CoAP є протоколом «запиту-відповіді», призначеним для систем з обмеженими ресурсами, який споживає обмежені ресурси, але йому не вистачає підтримки масштабованості та переносимості на широкий спектр платформ [1]. У зв'язку із цим, альтернативою виступає модель обміну повідомленнями «публікація-підписка» через її низькі витрати на зв'язок та ефективність використання ресурсів.

У моделі обміну повідомленнями «публікація-підписка» взаємодіють 3 елементи, а саме: публікатори та підписники, що взаємодіють через брокера. Брокер є централізованим програмним забезпеченням, яке організує зв'язок між публікаторами та підписниками. Така модель обміну повідомленнями широко використовується в системах через її ефективність використання ресурсів та масштабованості, але має певний недолік, який полягає у залежності від центрального брокера для передачі даних між публікаторами та підписниками. Саме централізована архітектура робить модель обміну повідомленнями «публікація-підписка» вразливою до центральних точок збою [2]. Крім того, це дозволяє публікатору та підписнику взаємодіяти через центральний сервер, що належить одній організації.

Мета дослідження. У даній статті для висвітлення роботи розподіленого брокера було обрано Trinity, що представляє собою розподілений брокер «публікації-підписки» з незмінністю на основі блокчейну, шляхом інтеграції брокерської системи зі структурою блокчейну. Разом із тим, важливо згадати і про те, що платформа Trinity реалізована з використанням платформи блокчейну MQTT та Tendermint [3]. Мета роботи проаналізувати, як переваги довіри, надані платформою Trinity, впливають на ресурсоефективність, зокрема в контексті зниження накладних витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує багато джерел, які присвячені темі використання блокчейн. Останні дослідження та статті дають загальну картину того, як блокчейн допомагає вирішувати різні проблеми в промисловості та інших сферах. Значний внесок у вирішення фундаментальних питань у сфері блокчейну є дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених [1–12].

Виклад основного матеріалу дослідження. Платформа Trinity поєднує в собі технологію блокчейна з моделлю обміну повідомленнями «публікація-підписка», яка є однією з моделей обміну повідомленнями, що широко використовуються, при розгортанні додатків.

Ключовими компонентами *технології блокчейна* є: *алгоритм консенсусу, розподілений реєстр та криптографія з відкритим ключем*. Ці компоненти взаємодіють між собою і координують свої дії у розподіленій мережі пристроїв, що належать кільком організаціям та обслуговуються ними.

Модель комунікації «публікація-підписка» зазвичай складається з трьох компонентів: брокер, публікатор та підписник. *Публікатори* в системі надсилають дані брокеру відповідно до концепції теми, а підписник який підписався на цю тему, отримує повідомлення від брокера. Тема, яка може мати кілька рівнів, зазвичай відноситься до метаданих, які описують інформацію про дані у рядковому форматі [4].

Платформа Trinity поєднує брокера «публікації-підписки» з компонентами технології блокчейна, такими як розподілений реєстр і алгоритм консенсусу. У свою чергу, три основні компоненти системи Trinity, що розподілені по мережі, включають: *блокчейн-мережу, брокера, публікаторів-підписників*.

Брокер Trinity забезпечує підтримку смарт-контрактів та незмінного реєстру у формі блокчейну. Сучасні брокери даних пересилають опубліковані дані всім підписникам без будь-якої перевірки, тоді як платформа Trinity перевіряє та записує транзакцію до реєстру перед відправкою інформації підписникам.

Так, блокчейн-мережа має вирішальне значення для реплікації стану та перевірки даних. Платформа Trinity надає набір API для взаємодії із мережею блокчейнів, а примірник брокера Trinity підключається до мережі блокчейна за допомогою API.

API DeliverTransaction відповідає за реплікацію стану, консенсус та процес створення блоків. Примірник брокера Trinity надсилає інформацію, що підлягає перевірці, за допомогою API DeliverTransaction разом з необхідними метаданими екземпляра, такими як ідентифікатори вузлів та системна інформація, до базової структури блокчейну. Мережа блокчейна реплікує дані між екземплярами Trinity, і кожен у мережі виконує смарт-контракт та алгоритм консенсусу перед введенням даних у блок [5].

Платформи блокчейну, у свою чергу, зазвичай складаються з протоколу консенсусу, логіки створення блоків, розподіленого реєстру та криптографії з відкритим ключем [6]. Платформа Trinity не залежить від конкретної структури або протоколів блокчейну, оскільки брокер взаємодіє зі структурою блокчейна через набір API-інтерфейсів для управління функціями, пов'язаними з блокчейном. Тим не менш, кожен екземпляр Trinity має API для запиту мережі блокчейну. API GetCurrentBlockHeight() дозволяє екземпляру Trinity отримувати поточну висоту блоку з мережі блокчейна. Аналогічно API GetBlock(BlockHeight) повертає весь блок на висоті, позначений аргументом BlockHeight. Хоча екземпляри брокера Trinity ізольовані від функцій блокчейну, базова структура блокчейна повинна мати такі компоненти, щоб гарантувати незмінність.

Алгоритм консенсусу. Платформа Trinity працює у розподіленій мережі, що належить кільком організаціям. Усі авторизовані учасники повинні перевіряти повідомлення, отримані брокером Trinity. Цей процес перевірки ґрунтується на протоколі консенсусу. Стан системи, що сприймається одним брокером у мережі, має бути реплікований на інші екземпляри Trinity, а транзакція має бути схвалена більшістю пристроїв у мережі. Система Trinity може працювати з консенсусними протоколами, такими як Proof-of-Work, Proof-of-Stake або іншими протоколами з категорії візантійської стійкості до відмови (BFT), такими як Tendermint [7], і протоколами на основі лідерів, такими як Raft [8]. Також варто звернути увагу, що споживання ресурсів та здатність витримувати збої пристрою залежать саме від протоколу консенсусу.

Розподілений реєстр. Сучасна структура блокчейна записує транзакції в незмінний реєстр на усіх пристроях, що перебувають у процесі консенсусу. Щоб досягти ефективності у використанні ресурсів та низьких витрат на керування в рамках блокчейну використовується Дерево Меркла або хеш-дерево. Trinity потрібен механізм реєстру, такий як Дерево Меркла, для безпечного зберігання транзакцій [9].

Криптографія з відкритим ключем. Платформа блокчейна використовує криптографію з відкритим ключем для захисту транзакцій та участі у процесі перевірки [10]. Кожен учасник мережі створює пару ключів і передає свій відкритий ключ до мережі для участі у процесі створення блоку та консенсусу.

Варто також згадати про такі пристрої як валідатори, що уповноважені виконувати смарт-контракти, брати участь у процесі консенсусу та створювати блоки [11]. У разі дозволеного блокчейна тільки певний набір пристроїв може виступати як валідатор, у той час як будь-який здатний пристрій може виконувати перевірку у загальнодоступних блокчейнах, таких як Bitcoin та Ethereum [10]. Можна стверджувати, що платформа Trinity краще підходить для дозволених блокчейнів, оскільки сторони, які беруть участь у транзакціях, відомі системі, і кожен передплатник повинен буде зареєструвати свій інтерес перед отриманням даних.

Отже, платформа Trinity має завдання, які специфічні для блокчейну, і вони мають малу пряму залежність від конкретної діяльності брокера. При цьому взаємодія між брокером та блокчейн-мережею здійснюється за допомогою набору API. Цілком можливо, що ця архітектура матиме вплив на розробку додатків шляхом внесення змін у модель зв'язку «публікація-підписки» іншими протоколами для створення нових інфраструктур на основі блокчейну.

Реалізація Trinity. У дослідженні платформу Trinity реалізовано з використанням платформи Mosquitto (MQTT) Broker та Tendermint Blockchain.

Платформа блокчейну Tendermint складається з набору інструментів для досягнення консенсусу в розподіленій мережі, виконання смарт-контрактів та створення блоків. Крім того, платформа Tendermint ізолює функціональні можливості, які пов'язані з блокчейном, від функцій, що є специфічними для програми. Це означає, що на основі платформи Tendermint можна розробляти будь-які програми, починаючи від криптовалют і закінчуючи сервером розподіленого чату. Також для реалізації платформи Trinity використано ABCI для об'єднання програми MQTT з платформою блокчейну. Платформа Tendermint використовує консенсусний протокол Byzantine Fault Tolerance (BFT), за допомогою якої 2/3 пристроїв у мережі мають схвалювати транзакції [12]. Коли більшість пристроїв у мережі схвалюють транзакцію, платформа Tendermint додає транзакцію до блоку.

Налаштування оцінки. Платформа Trinity оцінювалася з використанням 20-вузлової мережі Raspberry Pi 3. Raspberry Pi (версія 3) оснащений чотириядерним процесором ARM Cortex-A53 та 1 ГБ оперативної пам'яті. Для оцінки було використано ОС Hupriot. Усі пристрої були підключені через локальну мережу. Кожна точка даних у результатах оцінки збиралася шляхом публікації 1000 повідомлень одному з брокерів MQTT у мережі. Після отримання повідомлення брокер міг або передати повідомлення підписникам, як у сучасних системах публікації-підписки, або доставити повідомлення у структуру блокчейна для перевірки.

Оцінка проводилася на 5, 10, 15 та 20 вузлах для порівняння продуктивності мережі та наскрізної затримки з масштабом. Разом із тим, використовувалась конфігурація платформи Tendermint за умовчанням.

Наскрізна затримка. На відміну від традиційних брокерів, брокер Trinity перевіряє опубліковане повідомлення за допомогою смарт-контракту в рамках блокчейну і записує транзакції до розподіленого незмінного реєстру. Це свідчить про те, що передплатники брокера Trinity отримують записані та перевірені транзакції. Процес перевірки додає затримку, оскільки валідатори Trinity мають виконати смарт-контракт, алгоритм консенсусу та протоколи створення блоків. Передплатник отримує опубліковані дані після затримки через накладні витрати на обробку протоколу консенсусу, виконання смарт-контракту та створення блоку. На рис. 1 і 2 показані тимчасові витрати платформи Trinity при публікації та підписці на одного брокера, а також публікації на одному брокері та підписці на одну і ту ж перевірну тему від іншого брокера відповідно.

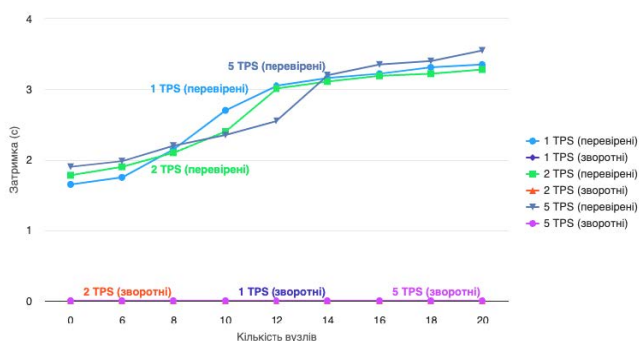


Рис. 1. Витрати при публікації та підписці на одного брокера

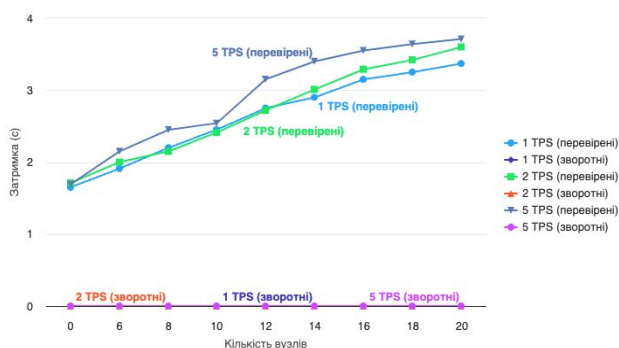


Рис. 2. Витрати при публікації та підписці на різних брокерів

Ми виміряли наскрізну затримку, коли публікатор відправляв дані кожні 0,2 с, 0,5 с і 1 с, що відповідає 5 транзакцій за секунду (TPS), 2 TPS та 1 TPS відповідно. Наскрізна затримка збільшується зі збільшенням кількості пристроїв у мережі через збільшення кількості валідаторів, які беруть участь у процесі консенсусу. Платформа Trinity поширює перевірені дані всім брокерам у мережі. Всі брокери будуть мати перевірені дані після додавання даних до незмінного реєстру. На рис. 1 показані тимчасові витрати при публікації та підписці на одного і того ж брокера. Максимальна затримка становить приблизно 3,5 с для 20 вузлів з 5 TPS, а затримка для транзакції зворотного зв'язку незначна (близько 90 мілісекунд). При підписці на перевірені дані з іншого брокера максимальна затримка збільшується з 3,5 с до 3,7 с. З рис. 1 і 2 видно, що незмінність та перевірка на основі блокчейна збільшують наскрізну затримку, але ми вважаємо, що ці витрати переважають переваги довіри та безпеки [13–16].

Накладні витрати мережі. Платформа Trinity використовує структуру блокчейна для реплікації стану, виконання протоколу консенсусу та створення блоків. Всі ці дії досягаються за рахунок координації та співпраці всіх пристроїв у мережі Trinity. Також даний процес генерує мережевий трафік. На рис. 3 показані мережеві витрати платформи Trinity. Слід звернути увагу на те, що реалізація Trinity здійснювалася поверх фреймворку Tendermint. Мережеві результати, представлені рис. 3, відбивають накладні витрати платформи Tendermint.

Мережеві витрати платформи Trinity збільшуються разом із кількістю пристроїв у мережі. Можна зауважити, що чим меншим є обсяг транзакцій в секунду, тим вищими є накладні витрати мережі, що пов'язано зі створенням великої кількості блоків. Вищий TPS зазвичай призводить до запису декількох транзакцій в одному блоці, тоді як нижчий TPS призводить до запису одного блоку на транзакцію [17–19].

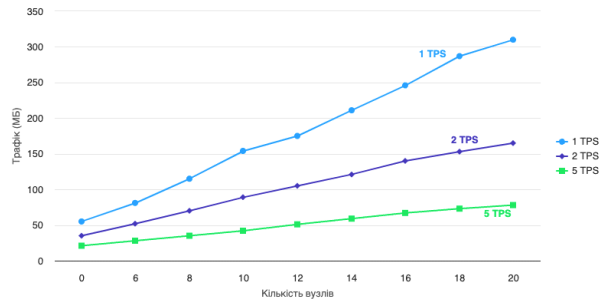


Рис. 3. Загальні мережеві витрати платформи

У підсумку, максимальні мережеві витрати, що становлять приблизно 300 МБ/1000 секунд для 20 пристроїв з одним TPS, незначні порівняно з перевагами, що пропонуються інфраструктурою Trinity. Агрегування кількох транзакцій може знизити мережні витрати, але це може статися за рахунок високої наскрізної затримки [20, 21].

Використання ЦП та ОЗУ. На рис. 4, 5 показано використання ЦП платформи Trinity.

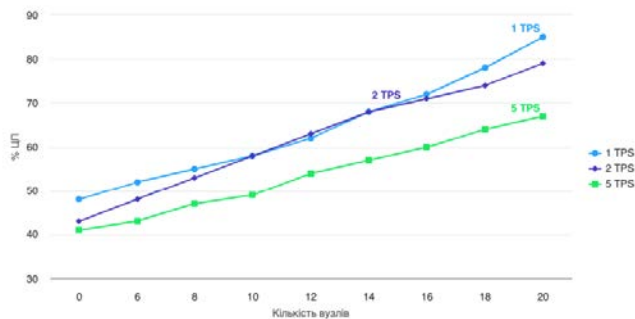


Рис. 4. Використання ЦП для консенсусу та створення блоку

На платформі Raspberry Pi 3 фреймворк Trinity використовує приблизно 85% ресурсів ЦП при публікації 1000 транзакцій зі швидкістю 1 TPS у мережі з 20 вузлів, оскільки фреймворк кожену секунду виконує смарт-контракт, алгоритм консенсусу та протокол створення блоків.

Аналогічно, максимальне використання оперативної пам'яті вимірюється в мережі з 20 вузлів під час публікації 1000 транзакцій зі швидкістю 1 TPS за 15-хвилинний інтервал часу. Витрати ресурсів платформи Trinity збільшуються разом із кількістю блоків, а тому, додаючи кілька транзакцій в один блок, можна мінімізувати навантаження на процесор та пам'ять.

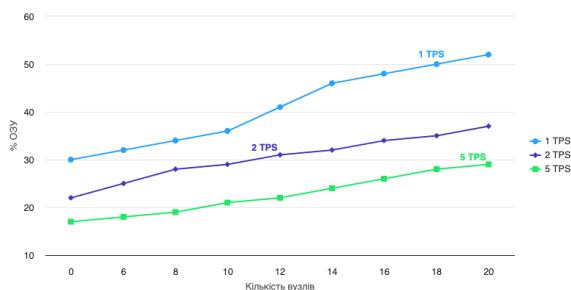


Рис. 5. Використання ОЗУ для консенсусу та створення блоку

Висновки. Технологія блокчейн суттєво вплинула на світ криптовалют. Будівельні блоки технології блокчейн, такі як протокол консенсусу та розподілений реєстр, є перспективними для додатків, що виходять за рамки криптовалют. У даному дослідженні було приділено особливу увагу Trinity, брокеру публікації та підписки з незмінюваністю на основі блокчейну. Платформа Trinity підвищує довіру при виконанні транзакцій у додатках за участю кількох зацікавлених сторін, таких як моніторинг ланцюжка постачання продуктів харчування та розумні міста. Платформа Trinity відокремила завдання, специфічні для блокчейна, від функцій, специфічних для брокера, тим самим дозволяючи розробникам додатків підключати своїх брокерів до будь-яких платформ блокчейну. Функція смарт-контрактів Trinity автоматизує процес перевірки даних під час виконання конфіденційних транзакцій в інфраструктурі, що належить кільком організаціям. Реалізація та оцінка платформи Trinity з використанням MQTT та Tendermint показують, що цю структуру можна практично реалізувати на сучасному брокері та платформах блокчейну. Нарешті, результати оцінки тестової мережі Raspberry Pi 3 з 20 вузлами показують, що платформа Trinity збільшує наскрізну затримку приблизно на 3 секунди, споживаючи смугу пропускання і обчислювальні ресурси. У підсумку можна стверджувати, що переваги довіри від платформи Trinity переважають накладні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Gerardus Blokdyk. Constrained Application Protocol Complete Self-Assessment Guide, 2022.
2. Cheng Sheng and Jie Bai. Software-Defined Wide Area Network Architectures and Technologies, 2021.
3. Michael Juntao Yuan. Building Blockchain Apps, 2019.
4. Sasu Tarkoma, Publish / Subscribe Systems: Design and Principles, 2012.
5. Шахид Шейх. Створення децентралізованих блокчейн програм: дізнайтеся, як використовувати блокчейн як основу для програм нового покоління, 2021.
6. Brenn Hill. Blockchain Quick Reference: A guide to exploring decentralized blockchain application development, 2018.
7. E. Buchman. Tendermint: Byzantine fault tolerance in the age of blockchains”, Ph.D. dissertation, 2016.
8. Meherban Singh. Consensus Algorithms in Distributed Systems”, 2023.
9. Azaria A, Ekblaw A, Vieira T, et al. MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management [C]. International Conference on Open and Big Data. IEEE. 2016, 25-30.

10. Шахід Шейх. Створення децентралізованих блокчейн-програм: дізнайтеся, як використовувати блокчейн як основу для програм нового покоління, 2021, 227 с.
11. Створення Ethereum DApps: децентралізовані програми на блокчейні Ethereum. Роберто Інфанте, 2019, 509 с.
12. Private blockchain is just a confusing name for a shared database. URL: <https://freedom-to-tinker.com/2015/09/18/private-blockchain-is-just-a-confusing-name-for-a-shared-database> (дата звернення: 16.11.2022).
13. Blockchains vs centralized databases. URL: <https://www.multichain.com/blog/2016/03/blockchains-vs-centralized-databases> (дата звернення: 16.04.2024).
14. EU Government Pegs BLockchain. URL: <https://www.coindesk.com/eu-government-pegs-blockchain-beneficiary-e30-billion-research-fund> (дата звернення: 16.04.2024).
15. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, (5).
16. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2023, (1).
17. Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз даних. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 2022, (6).
18. Singh Garewal. Practical Blockchains and Cryptocurrencies: Speed Up Your Application Development Process and Develop Distributed Applications with Confidence, 2020.
19. Роберто Інфанте. Створення Ethereum DApps: децентралізовані програми на блокчейні Ethereum, 2019.
20. Kevin Solorio and Randall Kanna. Hands-On Smart Contract Development with Solidity and Ethereum: From Fundamentals to Deployment, 2019.
21. Dhairya Parikh. Raspberry Pi and MQTT Essentials: A complete guide to helping you build innovative full-scale prototype projects using Raspberry Pi and MQTT protocol, 2022.

REFERENCES:

1. Gerardus Blokdyk. (2022). Constrained Application Protocol Complete Self-Assessment Guide.
2. Cheng Sheng and Jie Bai (2021). Software-Defined Wide Area Network Architectures and Technologies.
3. Michael Juntao Yuan. (2022). Building Blockchain Apps.
4. Sasu Tarkoma. (2012). Publish / Subscribe Systems: Design and Principles.
5. Shahid Sheikh. (2021). Building Decentralized Blockchain Applications: Learn how to use blockchain as the foundation for the next generation of applications.
6. Brenn Hill. (2018). Blockchain Quick Reference: A guide to exploring decentralized blockchain application development.
7. E. Buchman. (2016). Tendermint: Byzantine fault tolerance in the age of blockchains", Ph.D. dissertation.
8. Meherban Singh. (2023). Consensus Algorithms in Distributed Systems.
9. Azaria A, Ekblaw A, Vieira T, et al. (2016). MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management[C]. International Conference on Open and Big Data. IEEE, 25-30.
10. Shahid Sheikh. (2021). Building Decentralized Blockchain Applications: Learn how to use blockchain as the foundation for the next generation of applications, 227.
11. Roberto Infante. (2019). Creation of Ethereum DApps: decentralized applications on the Ethereum blockchain, 509.
12. Private blockchain is just a confusing name for a shared database. URL: <https://freedom-to-tinker.com/2015/09/18/private-blockchain-is-just-a-confusing-name-for-a-shared-database> (access date: 16.04.2024).

13. Blockchains vs centralized databases. URL: <https://www.multichain.com/blog/2016/03/blockchains-vs-centralized-databases> (access date: 16.04.2024).
 14. EU Government Pegs Blockchain. URL: <https://www.coindesk.com/eu-government-pegs-blockchain-beneficiary-e30-billion-research-fund> (access date: 16.04.2024).
 15. Zaitsev Ye.O. (2022). Smart zasoby vyznachennia avariinykh staniv u rozpodilnykh elektrychnykh merezhakh mist. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, (5).
 16. Novichenko Ye.O. (2023). Aktualni zasady stvorennia alhorytmiv obrobky informatsii dlia lohistychnykh tsentriv. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, (1).
 17. Korotin D.S. Efektyvnist funktsionuvannia kompiuternykh system pry vykorystanni tekhnolohii blokchein i baz dannykh. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, 2022, (6).
 18. Singh Garewal. (2020). *Practical Blockchains and Cryptocurrencies: Speed Up Your Application Development Process and Develop Distributed Applications with Confidence*.
 19. Roberto Infante. (2019). *Creation of Ethereum DApps: decentralized applications on the Ethereum blockchain*.
 20. Kevin Solorio and Randall Kanna. (2019). *Hands-On Smart Contract Development with Solidity and Ethereum: From Fundamentals to Deployment*.
 21. Dhairya Parikh. (2020). *Raspberry Pi and MQTT Essentials: A complete guide to helping you build innovative full-scale prototype projects using Raspberry Pi and MQTT protocol*.
-

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 519.6:001.3

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.15>ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ СИСТЕМ
В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Строєва В. О. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу
Дніпровського державного технічного університету
ORCID ID: 0000-0001-8890-9056

Пузік А. О. – здобувач третього (доктора філософії) рівня вищої освіти
Дніпровського державного технічного університету
ORCID ID: 0009-0009-1859-1623

У роботі розглянуто актуальну проблему застосування деяких підходів щодо оптимізації в умовах невизначеності у розрізі досліджень складних систем із багатьма взаємодіючими факторами, динамічними змінними та непередбачуваними зовнішніми чинниками. Встановлено основні параметри, що впливають на формування математичної моделі задачі. Нами визначено деякі початкові параметри системи, характеристики зв'язків між її компонентами, а також специфіка цільової функції. Під час дослідження було проаналізовано еволюцію станів системи при оптимізації для різних значень ключових параметрів, таких як модуль синаптичних зв'язків та зовнішні зміщення, обґрунтовано підхід до зменшення ймовірності виникнення неефективних станів системи. З'ясовано, як ці параметри впливають на формування локально стабільних станів, що не відповідають глобальному оптимуму задачі, а також оцінено їх вплив на якість рішень, прийнятих у таких умовах. Розроблено алгоритм оптимізації, який враховує особливості складних систем і базується на послідовному формуванні початкових даних, багаторічному ітераційному процесі досліджуваної системи та її переході до оптимального стану. Запропоновано методіку оптимального налаштування параметрів моделі, яка в умовах невизначеності забезпечує адаптивність алгоритму та підвищує ймовірність досягнення глобального екстремуму цільової функції. Визначено деякий підхід до структуризації умов невизначеності системи шляхом ранжування критеріїв релевантності, що дає можливість враховувати багатокритеріальний характер задачі та підвищувати ефективність процесу прийняття рішень. Розроблено практичні рекомендації щодо вибору оптимальних значень вагових коефіцієнтів, налаштування параметрів модуля зв'язків та адаптації алгоритму залежно від складності задачі та специфіки її рівня невизначеності.

Ключові слова: оптимізація, невизначеність, синаптичні зв'язки, ітераційна релаксація, адаптація алгоритму, багатокритеріальність, глобальний екстремум.

Stroieva V. O., Puzik A. O. Study of optimization problems of complex systems under conditions of uncertainty

The paper considers the actual problem of applying some approaches to optimization under conditions of uncertainty in the context of research of complex systems with many interacting factors, dynamic variables and unpredictable external factors. The main factors affecting the formation of the mathematical model of the problem are established, in particular, the attention is focused on the initial parameters of the system, the characteristics of the connections between its components, as well as the specificity of the optimization function. During the study, the evolution of system states during optimization for different values of key parameters, such as the module of synaptic connections and external displacements, was analyzed, and an approach to reducing the probability of inefficient states was substantiated. It was found out how these parameters affect the formation of locally stable states that do not correspond to the global optimum of the problem, and their influence on the quality of decisions made in such conditions was also evaluated. An optimization algorithm has been developed that takes into account the features of complex systems and is based on the sequential formation of initial data, the multi-stage iterative process of the studied system and its transition to the optimal state. The method of optimal setting of the model parameters is proposed, which ensures the adaptability of the algorithm in conditions of uncertainty and increases the probability of reaching the global extreme of the objective function. An approach to the structuring of the uncertainty conditions of the system by ranking the relevance criteria is defined, which makes it possible to take into account the multi-criteria nature of the problem and increase the efficiency of the decision-making process. Practical recommendations have been developed for choosing the optimal values of the weighting factors, setting the parameters of the connection module, and adapting the algorithm depending on the complexity of the task and the level of uncertainty.

Key words: *optimization, uncertainty, synaptic connections, iterative relaxation, algorithm adaptation, multi-criteria, global extreme.*

Вступ. В умовах сучасного динамічного середовища, що характеризується нестабільністю соціально-економічних процесів та постійними змінами, дослідження оптимізаційних задач в умовах невизначеності стає надзвичайно важливим напрямом наукової діяльності. Стрімкий розвиток технологій, глобалізація економічних процесів, зростання екологічних викликів та виникнення соціально-економічних криз створюють нові завдання для науковців-практиків, змушуючи їх шукати ефективні підходи до побудови моделей прийняття рішень, що зможуть працювати в умовах обмеженої інформації та непередбачуваних змін певних систем. Невизначеність, яка виникає через брак достовірних даних, труднощі у прогнозуванні або нестабільність існуючих тенденцій, значно ускладнюють процес оптимізації складних систем, особливо у таких критичних сферах, як управління ресурсами, стратегічне планування та розробка перспективних рішень для бізнесу і державного управління, тощо. У зв'язку з цим виникає необхідність у пошуку нових підходів, які можуть адаптуватися до складних умов і забезпечувати ефективне функціонування систем у непередбачуваних обставинах.

Найбільшої актуальності ці питання набувають у контексті сучасної цифровізації різноманітної інформації. Разом з цим, використання великих обсягів даних та алгоритмів штучного інтелекту дає можливість вирішувати складні оптимізаційні задачі, однак, вимагає інтеграції інноваційних підходів у традиційні методи. Наприклад, застосування нейронних мереж та інших сучасних технологій дозволяють адаптувати умови невизначеності до процесів оптимізації. Вивчення та розробка універсальних методів оптимізації, спрямовані на мінімізацію ризиків та забезпечення стійкості складних систем; на дослідження надзвичайно актуальних питань теорії і практики прийнятих рішень, якість яких забезпечує ефективність діяльності підприємств, організацій, державних структур, а також підвищення рівня адаптивності та стійкості управлінських рішень до сучасних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження оптимізаційних задач в умовах невизначеності набули широкого застосування у наукових дослідженнях

завдяки їх важливості у багатьох сферах господарської діяльності. Так, у роботі Берцімас Д., Маргарітіс Г. [1], досліджуються методи динамічного програмування, які стали основою для багатьох сучасних підходів до вирішення таких задач. Як відомо, ще Р. Беллман наголошував на важливості побудови моделей, здатних адаптуватися до зміни умов у процесі розв'язання задач. Сучасні дослідження, зокрема роботи з використання стохастичного програмування (Ракшит П., Конар А., Бхоумік П., Госвами І., Дас С., Нагар А. К., Джанартанан Р. [2]), пропонують моделі, що враховують ймовірнісний характер змінних у задачах оптимізації. Стохастичні методи дозволяють моделювати невизначеність шляхом введення випадкових параметрів, що значно підвищує точність прогнозування та якість прийняття рішень у таких умовах.

Іншою важливою групою підходів є методи оптимізації на основі нейронних мереж. Наприклад, роботи Аркетті К., Катаруца Д., Гу В., Ож'є М., Семет Ф. [3], Метеленко Н. Г., Коваленко О. В., Македон В., Мержинський Ю. К., Рудич А. І. [4], запропонували ідеї, які використовуються у сучасних алгоритмах штучного інтелекту для розв'язання комбінаторних оптимізаційних задач. У сфері багатокритеріальної оптимізації значний внесок зробили Діман Г., Гарг М., Нагар А., Кумар В., Дегані М. [5], які розробляють моделі компромісного прийняття рішень. Зокрема, такі моделі знаходять широке застосування у задачах стратегічного планування в умовах обмежених ресурсів. Окремо потрібно виділити дослідження, присвячені використанню алгоритмів еволюційного програмування, це наукова робота Діман Г., Сінгх К. К., Соні М., Нагар А., Дегані М. [6]. Показані ними методи демонструють високу ефективність у вирішенні задач із великою кількістю варіантів рішень, де класичні підходи можуть бути малоефективними. Інтеграція таких підходів у процес оптимізації відкриває нові перспективи для вирішення задач різного рівня складності. Отже, приведений огляд наукових здобутків підтверджує, що сучасні методи оптимізації в умовах невизначеності активно розвиваються та формують можливості удосконалення існуючих моделей для підвищення їх адаптивності і ефективності, а також створюють нові підходи, орієнтовані на вирішення актуальних теоретичних та практичних задач.

Мета дослідження. Метою представленого дослідження є удосконалення існуючих підходів до вирішення оптимізаційних задач, що виникають в умовах невизначеності, шляхом врахування впливу початкових параметрів системи, специфіки невизначеності та взаємодій між елементами системи, що забезпечує адаптацію до складних умов і підвищує ефективність розв'язання.

Виклад основного матеріалу дослідження. У задачах оптимізації в умовах невизначеності початкові параметри системи задаються вектором, який визначає початковий стан усіх її компонентів. У процесі вирішення задачі кожен елемент системи, обирається випадковим чином для оновлення свого стану. Цей елемент отримує сигнали, зважені відповідно до зв'язків з іншими елементами, і адаптує свій стан згідно з отриманою інформацією. Далі процес повторюється з іншими елементами, поки система не досягне стабільного стану, за якого жоден компонент більше не змінює свого стану після оновлення.

Остаточний стабільний стан системи, позначений як U^* , формується залежно від початкового стану U^0 та особливостей виду умов оптимізації в умовах невизначеності, визначеного функцією $E(U, T, I)$, яка враховує простір станів. Для спрощення задачі, вигляд функції оптимізації обумовлюється параметрами синаптичних зв'язків T та матрицею певної продуктивності $\{r_{ji}\}$.

За умови множини варіантів значень матриці продуктивності та довільного рівня модуля зв'язків, система може не досягти глобального екстремуму цільової

функції. Більше того, можливе формування локально стабільних станів, які не відповідають оптимальному рішенням задачі. Для уникнення таких ситуацій застосовується додаткове узгодження між значеннями модуля зв'язків та зовнішніми параметрами системи шляхом масштабування останніх. Вибір відповідного коефіцієнта масштабування зовнішніх даних базується на дослідженні впливу модуля зв'язків T на вид функції E для конкретної матриці продуктивності. Це дозволяє забезпечити більш ефективний перехід системи до стану, який відповідає глобальному екстремуму цільової функції.

Розглянемо модельний варіант задачі з матрицею продуктивності виду: $r_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 4 & 3 \end{pmatrix}$. Кожному вихідному стану мережі U поставимо у відповідність чотирих розрядний бінарний код, який представляє собою розгорнуту по рядках матрицю $\{u_{ji}\}$, та дослідимо поведінку цільової функції та її складових в залежності від стану мережі.

$$E_0 = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \sum_{\mu=1}^n \sum_{v=1}^n T_{ji\mu v} u_{ji} u_{\mu v} \quad (1)$$

Зокрема власна складова (1) незалежно від значення модуля зв'язків приймає нульове значення на двох станах, де характеризуються наявністю не більше одного компонента невизначеності. Значення вимушеної складової функції оптимізації $E_c = -\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n l_{ji} u_{ji}$, визначається зовнішніми.

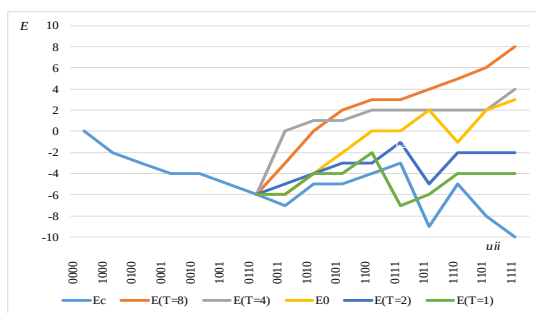


Рис. 1. Графік цільової функції та її складових в залежності від стану мережі

Зміщеннями відповідно до матриці продуктивностей та не залежить від значення модуля зв'язків, а цільова функція визначається, як $E = E_0 + E_c$. Як видно з проведеного аналізу представлених результатів, при досить малих значеннях модуля зв'язків вигляд функції оптимізації складний і багатоекстремальний. Незважаючи на те, що в даному варіанті чотиривимірний простір станів мережі відображено на цілочисельну вісь, навіть таке спрощене зображення дозволяє зробити висновок про те, що зі збільшенням значення T вид функції оптимізації стає все більш гладким, зменшується число локальних екстремумів і виділяється глобальний. Більш конструктивні висновки можна зробити за результатами дослідження якості розв'язання задачі про призначення при різних значеннях модуля зв'язків.

Для цього розглянемо задачу оптимізації з матрицею: $\begin{pmatrix} 10 & 5 & 4 & 6 \\ 6 & 4 & 9 & 7 \\ 1 & 8 & 3 & 6 \\ 5 & 3 & 7 & 2 \end{pmatrix}$. Всього в даному випадку існує 24 можливих плани призначень критеріїв оцінювання знайдених умов невизначеності системи, на яких значення функції вартості лежать в діапазоні від 10 до 30 позицій. Останнє значення відповідає оптимальному рішенням, яке є єдиним. Задамо сім'ю початкових станів мережі $U^{(0)}$, кожен з яких складається

з одного компонента невизначеності і збуджених всіх інших. Перебираючи, таким чином, послідовно всі компоненти, проведемо серію з шістнадцяти реалізацій еволюційних процесів мережі з різних початкових станів з вище обраної матрицею продуктивностей і конкретним значенням модуля зв'язків T . На рисунку 2 представлено результати розв'язано задачі по шести серіях, які відповідають значенням модуля зв'язків від 5 до 10.

При великих значеннях T , близьких до максимального елементу матриці продуктивностей r_{max} , з шістнадцяти рішень в серії шість результатів дають оптимальний план призначень. При цьому десять інших рішень серії відповідають локальним екстремумам, значення функції вартості, в яких не менше 28. Такий стан зберігається і при подальшому збільшенні модуля зв'язків. Зменшення модуля зв'язків до значення, близького до середнього за всіма елементами матриці продуктивностей, що призводить до зростання числа строго оптимальних рішень, зменшення числа локально оптимальних рішень і появи стійких станів, які не відповідають планам призначень, число яких зростає.

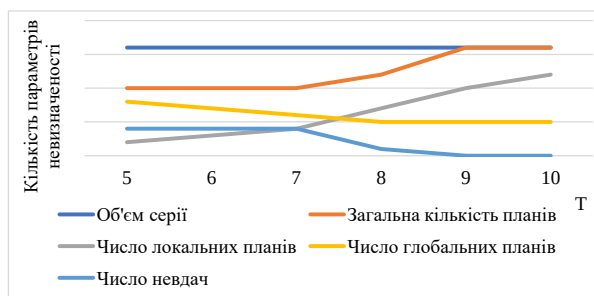


Рис. 2. Реалізація еволюційних процесів в залежності від модуля зв'язків

За наведеними результатами можна зробити деякі практичні рекомендації. При розв'язанні задачі про призначення, за допомогою формування функції оцінки рівня невизначеності, значення модуля синаптичних зв'язків має належати діапазону від середнього до максимального елемента матриці продуктивностей [7]. На практиці, коли зміна значень модуля синаптичних зв'язків представляє собою непросту технологічну проблему, цю рекомендацію доцільно реалізовувати шляхом масштабування вихідних значень продуктивностей, перед введенням їх в мережу, у вигляді зміщень параметрів функції при заданому значенні T . Ваговий коефіцієнт k_m обирається з діапазону $k_m \in [\frac{r_{mid}}{T}, \frac{r_{max}}{T}]$, а сигнали зміщень визначаються у вигляді $I_{ji} = \frac{r_{ji}}{k_m}$, $j, i = 1, \dots, n$. Остаточний вибір здійснюється у кожному конкретному випадку в залежності від необхідної якості рішення [8]. Якщо достатньо отримати досить наближений розв'язок задачі, ваговий коефіцієнт обирають близьким до $k_m = \frac{r_{max}}{T}$ шляхом одного звернення до мережі. Якщо ж необхідно отримати строго оптимальне рішення і є можливість кілька разів звернутися до мережі, коефіцієнт обирається близьким до $k_m = \frac{r_{mid}}{T}$. Отримується серія рішень для різних початкових станів мережі і серед знайдених планів обирається кращий. На рисунку 3 наведено загальну блок-схему розробленого алгоритму оптимізації в умовах невизначеності при векторному критерії релевантності.

На перших трьох етапах формуються вихідні дані алгоритму, задається кількість запусків релаксації цільової функції [9]. На наступному етапі, на основі статистичних, динамічних внутрішніх і динамічних зовнішніх факторів формується

вектор критеріїв релевантності умов невизначеності системи: $v_i, i = 1, \dots, N$. Так як критеріїв v_i – на порядок більше ніж умов невизначеності системи d_j , то критерії комбінаторно групуються за всіма можливими поєднаннями без повторів і кожне угруповання приймається за одиницю призначення.

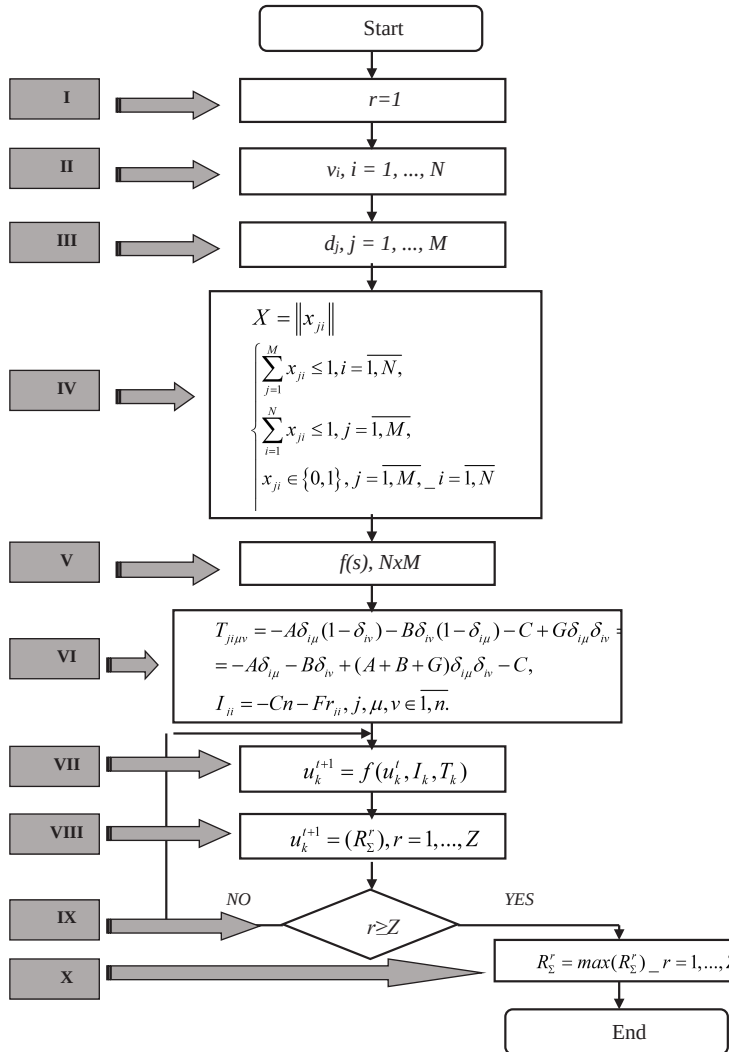


Рис. 3. Блок-схема алгоритму оптимізації в умовах невизначеності при векторному критерії релевантності

При виконанні третього етапу обирається неупорядкована частина множини знайдених умов невизначеності системи, що підлягає ранжируванню: $d_j, j = 1, \dots, M$. На цьому етапі будується таблиця $X = ||x_{ji}||$ відповідності множини D знайдених умов невизначеності системи множини V критеріїв значущості. Таблиця визначає вихідні дані для розв'язання завдання ранжирування в межах комбінаторної задачі про призначення. П'ятий етап визначає структуру цільової функції – вид функції активації $f(s)$, число параметрів функції, яке залежить від розмірності

векторів вихідних даних і режиму функціонування (асинхронний режим). На цьому етапі за формулами обчислюються коефіцієнти зв'язків $T_{j\mu\nu}$ і зміщення I_{ji} , моделі мережі Хопфілда цільової функції $u=f(u,I,T)$, де u – виходи виду невизначеності, I – величини зміщень, T – коефіцієнти синаптичних зв'язків. Наступний етап реалізує ініціалізацію задачі випадковим вхідним вектором u^0 , на якому ітераційним процесом встановлюється рівноважний стан системи $u_k^{i+1} = f(u_k^i, I_k, T_k)$ [10]. На передостанньому етапі здійснюється однозначна інтерпретація вихідних сигналів параметрів функції.

Інтерпретація результатів цільової функції дозволяє отримати бажану послідовність індексів умов невизначеності системи відповідно до заданої множини критеріїв релевантності і сумарне значення релевантності R_Σ^r на r -му кроці. Етапи з сьомого по дев'ятий виконуються до досягнення заданої кількості обчислення функції ($r \geq Z$). На заключному етапі обирається та послідовність подання умов невизначеності системи, сумарне значення релевантності, якої є максимальним $R_\Sigma^r = \max(R_\Sigma^r), r = 1, \dots, Z$.

Висновки і перспективи подальших досліджень. За результатами проведеного дослідження визначено деякі підходи щодо оптимізації складних систем в умовах невизначеності. Показано, що стабільний стан системи залежить від початкових параметрів системи, характеристик зв'язків між її компонентами, а також специфіки цільової функції. Досліджено вплив модуля синаптичних зв'язків на формування оптимізації, що дозволило виявити закономірності зменшення кількості локальних екстремумів та виділення глобального екстремуму з підвищенням значення модуля. Оцінено якість розв'язання задачі про призначення за допомогою побудови функції оптимізації, яка забезпечує відповідність умов невизначеності системи заданим критеріям релевантності та доведено, що збільшення модуля зв'язків сприяє збільшенню кількості оптимальних рішень. Обґрунтовано доцільність використання масштабування вихідних параметрів функції оптимізації для спрощення процесу її налаштування та забезпечення досягнення оптимального розв'язку задачі в умовах невизначеності. Розроблено алгоритм оптимізації, який базується на поетапному формуванні вихідних даних, використанні випадкових вхідних векторів і поступовій релаксації цільової функції до екстремального стану. Алгоритм враховує як зовнішні, так і внутрішні фактори, що впливають на результати. Розроблено блок-схему розробленого алгоритму, який дозволяє ефективно реалізувати етапи збору, обробки даних і ранжування умов невизначеності, забезпечуючи надійність отриманих результатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Bertsimas D., & Margaritis G. (2023). Global Optimization: A Machine Learning Approach. arXiv preprint arXiv:2311.01742. <https://doi.org/10.1007/s10898-024-01434-9>
2. Rakshit P., Konar A., Bhowmik P., Goswami I., Das S., Nagar A. K., Janarthanan R. Realization of an Adaptive Memetic Algorithm Using Differential Evolution and Q-Learning: A Case Study in Multirobot Path Planning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2013. № 43(4). pp. 814–831. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2012.2222371>
3. Archetti C., Feillet D., Mor A., & Speranza M. G. (2020). Dynamic Traveling Salesman Problem with Stochastic Release Dates. *European Journal of Operational Research*, 280(3), 832–844. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.08.011>
4. Metelenko N.G., Kovalenko O.V., Makedon V., Merzhynskiy Y.K., Rudych A.I. (2019). Infrastructure security of formation and development of sectoral corporate

clusters, *Journal of Security and Sustainability Issues* 9(1): 77–89. <http://doi.org/10.9770/jssi.2019.9.1>

5. Dhiman, G., Garg, M., Nagar, A., Kumar, V., & Dehghani, M. (2021). A Novel Algorithm for Global Optimization: Rat Swarm Optimizer. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(8), 8457–8474. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02580-0>

6. Dhiman G., Singh K.K., Soni M., Nagar A., Dehghani M. MOSOA: A New Multi-Objective Seagull Optimization Algorithm. *Expert Systems with Applications*. 2021. №168. pp. 114150. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114150>

7. Makedon V., Kostyshyna T., Tuzhylnkina O., Stepanova L., Filippov V. Ensuring the Efficiency of Integration Processes in the International Corporate Sector on the Basis of Strategic Management. *Academy of Strategic Management Journal*. 2019. Volume 18(SI1). URL: <https://www.abacademies.org/articles/Ensuring-the-efficiency-of-integration-processes-in-the-international-corporate-sector-on-the-basis-of-strategic-management-1939-6104-18-SI-1-452.pdf>

8. Bera S., Nagar A.K., Sriram S., Subramanian K.G. An Array P System Based on a New Variant of Pure 2D Context-Free Grammars. *Theoretical Computer Science*. 2023. №948. pp. 114027. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2023.114027>

9. Archetti, C., Cattaruzza, D., Gu, W., Ogier, M., & Semet, F. (2022). A Sequential Approach for a Multi-Commodity Two-Echelon Distribution Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107797. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107797>

10. Nwankwor E., Nagar A.K., Reid D.C. Hybrid Differential Evolution and Particle Swarm Optimization for Optimal Well Placement. *Computational Geosciences*. 2013. №17(2). pp. 249–268. <https://doi.org/10.1007/s10596-012-9328-9>

REFERENCES:

1. Bertsimas D., & Margaritis G. (2023). Global Optimization: A Machine Learning Approach. arXiv preprint arXiv:2311.01742. <https://doi.org/10.1007/s10898-024-01434-9>

2. Rakshit P., Konar A., Bhowmik P., Goswami I., Das S., Nagar A. K., Janarthanan R. Realization of an Adaptive Memetic Algorithm Using Differential Evolution and Q-Learning: A Case Study in Multirobot Path Planning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. 2013. № 43(4). pp. 814–831. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2012.2222371>

3. Archetti C., Feillet D., Mor A., & Speranza M. G. (2020). Dynamic Traveling Salesman Problem with Stochastic Release Dates. *European Journal of Operational Research*, 280(3), 832–844. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.08.011>

4. Metelenko N.G., Kovalenko O.V., Makedon V., Merzhynskyi Y.K., Rudych A.I. (2019). Infrastructure security of formation and development of sectoral corporate clusters, *Journal of Security and Sustainability Issues* 9(1): 77–89. <http://doi.org/10.9770/jssi.2019.9.1>

5. Dhiman, G., Garg, M., Nagar, A., Kumar, V., & Dehghani, M. (2021). A Novel Algorithm for Global Optimization: Rat Swarm Optimizer. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(8), 8457–8474. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02580-0>

6. Dhiman G., Singh K.K., Soni M., Nagar A., Dehghani M. MOSOA: A New Multi-Objective Seagull Optimization Algorithm. *Expert Systems with Applications*. 2021. № 168. pp. 114150. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114150>

7. Makedon V., Kostyshyna T., Tuzhylnkina O., Stepanova L., Filippov V. Ensuring the Efficiency of Integration Processes in the International Corporate Sector on the Basis of Strategic Management. *Academy of Strategic Management Journal*. 2019. Volume 18(SI1). URL: <https://www.abacademies.org/articles/Ensuring-the-efficiency-of-integration-processes-in-the-international-corporate-sector-on-the-basis-of-strategic-management-1939-6104-18-SI-1-452.pdf>

8. Bera S., Nagar A.K., Sriram S., Subramanian K.G. An Array P System Based on a New Variant of Pure 2D Context-Free Grammars. *Theoretical Computer Science*. 2023. № 948. pp. 114027. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2023.114027>
 9. Archetti, C., Cattaruzza, D., Gu, W., Ogier, M., & Semet, F. (2022). A Sequential Approach for a Multi-Commodity Two-Echelon Distribution Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107797. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107797>
 10. Nwankwor E., Nagar A.K., Reid D.C. Hybrid Differential Evolution and Particle Swarm Optimization for Optimal Well Placement. *Computational Geosciences*. 2013. № 17(2). pp. 249–268. <https://doi.org/10.1007/s10596-012-9328-9>
-

УДК 621.7; 614.8; 331.4

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.16>

ПРОБЛЕМАТИКА ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ РУК СИСТЕМИ «ЗНАРЯДДЯ ПРАЦІ – МЕХАНІК – МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ»

Фордзюн Ю. І. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерії, технологій та професійної освіти
Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0000-0001-6709-9525

Жигуц Ю. Ю. – доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології машинобудування
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0002-7477-7619

Кабацій В. М. – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри інженерії, технологій та професійної освіти
Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0009-0006-0127-5032

Проц Л. А. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології машинобудування
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0001-8162-2108

Бродович Ю. Р. – кандидат сільсько-господарських наук,
старший викладач кафедри інженерії, технологій та професійної освіти
Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0009-0005-6458-3553

Максютова О. В. – PhD, старший викладач кафедри інженерії,
технологій та професійної освіти Мукачівського державного університету
ORCID ID: 0000-0001-8400-1382

У статті систематизовано вимоги до засобів захисту рук для системи «знаряддя та засоби праці-механік-професійне середовище» з огляду стрімкої цифровізації професійної діяльності. Проблема актуальна в галузі механічної інженерії, де зростає комплекс завдань від ескізу комп'ютерної моделі до готового продукту, де постійно відбувається взаємодія між комп'ютерною віртуальною реальністю та матеріалізованою (паралельною) реальністю, що загалом повинно сприяти підвищенню точності заготовки/технологічної операції та якості готової продукції.

Проведено системний аналіз номенклатури показників якості засобів захисту рук з врахуванням її ієрархічної структури та системних зв'язків. Аналіз здійснено за результатами інтерв'ювання та анкетного опитування фахівців «Флекстронікс ТзОВ» з іноземними інвестиціями, де пріоритетними є інноваційні, безвідходні, «чисті технології». У ході дослідження використовувались методи оптичного макроаналізу та кастомізація захисних рукавичок на різних стадіях промислового виробництва. Встановлено, що критерій безпеки для засобів захисту рук, в сучасних умовах, при роботі з високо високотехнологічними засобами праці слід розглядати на якісно вищому рівні з огляду, як безпеки персоналу, безпеки дороговартісного обладнання, передосторог щодо негативного впливу на якість заготовки на етапах виробництва, так і освіченості, компетентності фахівців щодо відповідних

технологічних процесів галузі механічної інженерії. Тому при виборі засобів захисту рук потрібно враховувати, як захисні властивості рукавичок, так і незручності (обмеження рухів кисті рук кінестетичні відчуття, погіршення тактильних відчуттів), що обумовлені звичною фізіологічною потребою, пов'язаною з потінням шкіри долоні та пальців рук. Ці питання можуть бути вирішені шляхом кастомізації, як дієвої форми взаємодії між об'єктом та суб'єктом товарних та виробничих відносин, що спрямована на покращення споживчих властивостей товару. Конкретний фахівець галузі може виступати партнером щодо вирішення перспективних завдань для виробника, який безпосередньо враховує відповідну думку споживача на всіх етапах життєвого циклу товару.

Ключові слова: інженерна механіка, цифрові технології, сенсорні технології, знаряддя праці, засоби захисту рук, безпека.

Fordzyun Yu. I., Zhiguts Yu. Yu., Kabatsii V. M., Proc L. A., Brodovych Yu. R., Maksyutova O. V. Problems of forming the functionality and safety of hand protective equipment in the system “work tools-mechanics-mechanical engineering”

The article systematizes the requirements for hand protection for the system «tools and means of work-mechanics-professional environment» in view of the rapid digitalization of professional activity. The problem is relevant in the field of mechanical engineering, where the complex of tasks from the sketch of a computer model to the finished product is growing, where there is constant interaction between computer virtual reality and materialized (parallel) reality, which in general should contribute to increasing the accuracy of the workpiece/technological operation and the quality of the finished product.

A systematic analysis of the nomenclature of quality indicators for hand protection equipment was conducted, taking into account its hierarchical structure and systemic connections. The analysis was carried out based on the results of interviews and a questionnaire survey of specialists of Flextronics LLC, where innovative, waste-free, “clean technologies” are prioritized. The study used methods of macroanalysis and customization of protective gloves at various stages of industrial production. It was established that the safety criterion for hand protection equipment, in modern conditions, when working with high-tech work equipment, must be considered at a qualitatively higher level in terms of both personnel safety, safety of expensive equipment, prevention of negative impact on the quality of the workpiece at the stages of production, and education and competence of specialists in the relevant technological processes of the mechanical engineering industry. Therefore, when choosing hand protection, it is necessary to take into account both the protective properties of gloves and the inconveniences (restriction of hand movements, kinesthetic sensations, deterioration of tactile sensations) caused by the usual physiological need associated with sweating of the skin of the palm and fingers. These issues can be resolved through customization, as an effective form of interaction between the object and the subject of commodity and production relations, aimed at improving the consumer properties of the product. A specific industry specialist can act as a partner in solving promising tasks for the manufacturer, who directly takes into account the relevant opinion of the consumer at all stages of the product life cycle.

Key words: engineering mechanics, digital technologies, sensor technologies, work tools, hand protection, safety.

Постановка проблеми. Особливістю сучасної глобальної світової економіки є те, що промислова продукція залишається затребуваною на споживчому ринку, поки на зміну їй прийде якісно нова, краща за споживчими показниками (технічними, експлуатаційними та ін.). Закономірно, що інноваційна продукція є результатом розвитку досягнень науки та техніки та відповідатиме глобальній стратегії сталого виробництва, споживання та розвитку. Між виробниками товарної продукції на ринку товарів та послуг домінують інтереси «вибагливого замовника спільноти сталого розвитку» з поточними, прогнозованими та майбутніми потребами [1, 2].

Сьогодні на етапі організації виробництва нової продукції широко використовуються цифрові технології, котрі суттєво скорочують, як час підготовки виробництва, так і питомі витрати матеріальних ресурсів [3]. Зокрема 3D моделювання дає змогу автоматизувати складні інженерні розрахунки, які є частиною етапу проектування елементів, вузлів майбутньої моделі виробу. Комп'ютерне моделювання

надає можливість швидко представити конструкторську та технологічну документацію, необхідну для виробництва виробу Комплекс вихідних даних (складальні креслення, розміри, відхилення, шорсткість поверхонь, допуски, посадки тощо) визначають вимоги до виробу та його частин (специфікації, деталізації тощо), тобто всю необхідну документацію. Цифровізація конструкторської та технологічної документації сприяє швидкій організації виробництва через можливість передачі відповідної інформації на відповідне устаткування, обладнання, верстати з ЧПК.

Актуальність теми дослідження. Першочергове завдання для будь якого підприємства, що прагне зарекомендувати себе в конкурентоздатному середовищі – забезпечення рівня якості та ефективності виробництва. Першим кроком для зміни критеріїв конкурентного середовища підприємств України було запровадження європейських стандартів ISO серії 9000, що регламентують єдині вимоги до менеджменту з точки зору забезпечення якості продукції, якості менеджменту, маркетингу та інших систем організації виробництва, управління та діяльності підприємства [1, 3].

В професійній діяльності інженера-механіка спостерігається домінування програмного забезпечення на всіх етапах життєвого циклу від конструкції, вибору матеріалів та розрахунку на міцність до виробництва, сервісу та обслуговування, як виробничого обладнання так і продукції. Така взаємодія значно розширює обсяг завдань та задач інженера-механіка з огляду системи «знаряддя та засоби праці-механік-професійне середовище». Актуальним залишається питання формування вимог до засобів захисту рук в даній сфері в умовах підвищених вимог щодо якості продукції.

Ця проблема особливо актуальна в галузі механічної інженерії, де зростає комплекс завдань від ескізу комп'ютерної моделі до готового продукту, де постійно відбувається взаємодія між віртуальною (комп'ютерною) реальністю та матеріалізованою (паралельною) реальністю, що загалом сприяє підвищенню точності заготівки технологічної операції та якості готової продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдяки втіленню цифровізації й інформаційних технологій у промисловості спостерігаються якісні зміни продуктивних сил, посилюється взаємодія та взаємозалежність всіх етапів та фаз виробництва, спостерігається впровадження нових технологічних рішень в виробничі процеси. Попри підвищення ефективності технологічних процесів завдяки використанню сучасних високотехнологічних засобів праці, традиційні умови праці та безпеки в системі «засоби/знаряддя праці-механік-машинобудування» залишаються. Частка ручної праці, звісно, залишається домінуючою на етапах контролю не дивлячись на значну автоматизацію сучасного виробництва та використання роботів, маніпуляторів [4, 5].

Європейськими стандартами регламентовані наступні види захисних рукавичок: EN 388-Захист від механічних ризиків (стирання / поріз / розрив / прокол); EN 374-Захист від хімічних речовин і мікроорганізмів; EN 420 – Загальні вимоги до рукавичок включають розміри та низку аспектів здоров'я та безпеки; EN 60903 – Ураження електричним струмом; EN 407 – Термостійкість; EN 511 – Морозостійкість; EN 1149 – Антистатичний; EN 10819 – Антивібраційні рукавички [8].

Практичних рекомендацій, як і системних досліджень, пов'язаних з вибором захисних рукавичок для системи «механік-засоби діяльності-цифровізація професійного середовища», як показує аналіз літературних даних, недостатньо. У взаємодії «механік-засоби діяльності-цифровізація професійного середовища»

рукавички, як засоби захисту рук, повинні володіти комплексом відповідних споживчих властивостей та функцій.

Попри традиційні ергономічні, естетичні, захисні властивості рукавички повинні, також забезпечувати високу культуру й організацію виробництва [7–9]. У роботі [10, 11] систематизовано вимоги до засобів захисту рук в умовах професійного середовища, розроблено номенклатуру показників якості засобів захисту рук та представлено її ієрархічну структуру. Критерій безпеки для засобів захисту рук в сучасних умовах при роботі з високотехнологічними засобами праці слід розглядати на якісно вищому рівні з огляду, як безпеки персоналу, безпеки дорожовартісного обладнання, так і освіченості, компетентності фахівців щодо відповідних пересторог.

Постановка проблеми. Зростання значущості висококваліфікованих робітників (3D сканування, оптичні технології, сенсорні технології, роботизація, штучний інтелект та ін.), підвищення їх освітнього рівня, обумовлюють необхідність зміни умов праці, засобів захисту рук для ергономічного та комфортного виконання поставлених завдань. Культура виробництва системи «знаряддя та засоби праці-механік-професійне середовище» потребує переходу на якісно новий рівень взаємодії з огляду стрімкого розвитку цифровізованих засобів виробничої діяльності.

Мета дослідження. Основна мета роботи – дослідження стану взаємодії засобів захисту рук системи «знаряддя праці-механік-професійне середовище» з огляду цифровізації виробничої діяльності та підвищених вимог до якості продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для обґрунтування критеріїв вагомості засобів захисту рук системи «знаряддя праці-людина (професія)-середовище» проаналізовано показники професійного середовища, пов'язані з робочим місцем. До уваги бралось сучасне підприємство компанії «Флекстронікс ТзОВ» (у подальшому «Флекс») з передовими технологіями, на якому встановлені підвищені вимоги щодо охорони праці, та діє система екологічного менеджменту для вибору, технологій, управління відходами, утилізації продуктів виробництва, управління небезпечними речовинами відповідно до стандартів ISO 14001, 9000.

Враховувались весь комплекс загальних ергономічних показників якості підсистеми «механік-робоче місце» (табл. 1), визначалась значущість засобів захисту рук для підсистеми. До інтерв'ювання долучались інженерно-технічні працівники відповідальні за організацію праці. Кількість респондентів підсистеми «механік-робоче місце» становила 15 осіб, відповідно. інженерно-технічних респондентів – 8 осіб.

Таблиця 1

Номенклатура ергономічних показників якості

Соціальні	Психологічні	Фізіологічні	Антропометричні	Гігієнічні
Відповідність конструкції машини і організації робочих місць, характеру, і ступеню групової взаємодії	Відповідність машини можливостям і особливостям: сприймання, пам'яті, мислення, навичкам праці	Відповідність машини: силовим, швидкісним, енергетичним, зоровим, слуховим, тактильним можливостям	Відповідність машини, пульта керування, форми заготовки: розмірам і формі тіла, розподілу ваги працівника	Освітленість, вентиляція, температура, вологість, тиск, напруга електричного і магнітного полів, запиленість, токсичність, шум, вібрація, гравітаційне перевантаження, прискорення

Авторами також розроблена анкета для подальшого опитування респондентів під конкретні умови та потреби підприємства (табл. 2).

Респондентам пропонувалось при анкетному опитуванні вибрати найвагоміші показники за методикою в якій «десять» (найвищий бал) присвоювався найвагомішому показнику, наступному, відповідно, «дев'ять» і так далі.

Результати анкетного опитування оброблялись за допомогою програми «RANG». Було встановлено, що значущими показниками в умовах вибірки були X_1

Таблиця 2

Номенклатура показників якості (ієрархічна структура) рукавиць системи «знаряддя праці-механік-умови праці(професійне середовище)»

№ з/п шифр	Показник якості що потребує контролю та регламенту	Група показників	Узагальнена характеристика	Примітка (особливі критерії)
x ¹	стирання(стиснення)	Дія механічна	Захисні функції працівника	
	поріз			
	прокол			
	удар (вібрація)			
X ₂	бруд	Дія механічних частинок		проникнення
	абразив			
	стружка			
X ₃	тепло	Фізична дія		
	холод			
	електричний струм			
	іонізуюче проміння			
X ₄	тактильні відчуття	Функціо-нальність	Професійна функціональність (кінчики пальців, фаланги пальців, кисті рук)	верхній та нижній поріг чутливості
	кінестетичні відчуття			
X ₅	розмірні характеристики	Ергономіч-ність	Комфортність	дослідна носка
	гігієнічні характеристики			
	психо-фізіологічне сприйняття			
	сумісність щодо фізіології пітіння			
X ₆	зовнішній вигляд	Естетичність	Естетичні	маркість
	колір			
X ₇	безпечність на етапах виробництво/ утилізація	Екологічність	Екологічна безпека	матеріалів
X ₈	зносостійкість пакету матеріалів	Довговічність	Надійність	матеріалів
X ₉	вартість/в кошторисі витрат		Економічні витрати на зсоби	
X ₁₀	захист обладнання	Безпечність		

(захист від механічної дії; X_2 (захист від частинок середовища), X_5 (ергономічні показники). Показник X_{10} (захист обладнання), як і показник X_9 (закупівельна вартість) були найменш вагомими. Дослідження показало також малий коефіцієнт конкордації $W = 0,4212$. Цей коефіцієнт характеризує ступінь узгодженості думок респондентів, у даному конкретному випадку експертів, щодо досліджуваної проблематики.

Результати досліджень показують потребу в більш детальному вивченні всіх параметрів, факторів проблеми взаємодії засобів захисту рук системи «знаряддя праці-людина (професія) – середовище». Детальніше вивчення фізіології роботи рук механіка, обумовленої потінням шкіри рук в підсистемах «долоня-деталь», «дотик-контакт» із засобами та знаряддями праці.

Робітник голою долонею може залишати на поверхні деталей відбитки, що є небажаними в деяких випадках, як з естетичної, так і гігієнічної точки зору для готової продукції. Особливо це потрібно враховувати при нанесенні за подальшою технологією виготовлення на певні поверхні деталей різних видів захисних покриттів, фарблення, лакування або при застосуванні полірованих поверхонь у медицині тощо. Нами з допомогою фотографії задокументовано відбиток долоні руки, яка перебувала в контакті з матовим склом (рис. 1, а), та рельєф поверхні шкіри, де чітко простежуються потові залози (рис. 1, б).

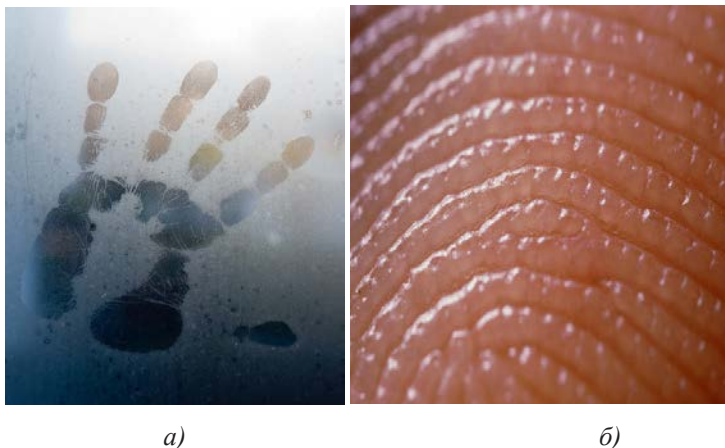


Рис. 1. Ілюстрування відбитків шкіри: а) відбиток контакту долоні, що пітніє з матовим склом, попередньо охолодженим;
б) мікроскопія поверхні шкіри долоні людини

Мікроскопічне дослідження поверхні шкіри фалангів пальців людини (рис. 1, б) дало змогу розрахунковим методом визначити площу, на яку припадає одна екрінова потова залоза – $0,5 \text{ мм}^2$ (об'єкт масштабування: на квадрат площею 4 мм^2 припадає 8 екрінових потових залоз, тобто 500 залоз на 1 см^2 , що цілком корелює з показником 200–400 залоз на 1 см^2 , наведеним у роботі [12]). Оскільки екрінова потова залоза представляє собою трубчасту рукавну протоку, яка в глибині дерми має форму клубка, то довжина її більша за товщину шкіри за рахунок спіралеподібної форми та становить від 2 до 5 мм.

Пітніння шкіри людини та долоней є складний природний біологічний рефлекторний процес теплової регуляції людини. Інтенсивність пітніння може суттєво змінюватись від малопомітного – у вигляді пари, до ясного – у вигляді крапель. Секреція

поту у вигляді пари та крапель здійснюється рефлекторно вивідними протоками мікропорами екринових потових залоз, щільно розміщеними на шкірі. Продуктивність потовиділення залози визначається діаметром протоки, яка на поверхні шкіри відкривається порою діаметром 60–80 мкм [12].

Шкіра долоні людини рефлекторно пітніє завдяки екриновим потовим залозам, секреція яких у вигляді поту виконує терморегуляційну функцію та видільну функцію, що в основному проявляється при виконанні фізичних дій. По цій причині матеріал захисних рукавичок повинен мати високі гігієнічні властивості, добре поглинати та пропускати піт людини.

Використання рукавичок завжди викликає певні обмеження у відчуттях фактури, в русі руки та пальців. Це обумовлено фізіологією шкіри людини, її рецепторними функціями та функціями руху м'язів кисті рук. З іншого боку захисні рукавички повинні бути такими, щоб не погіршити чутливість і вправність пальців рук для виконання відповідних технологічних дій та рухів.

Тактильні відчуття – це відчуття дотику та тиску (рис. 2, а). Тільця Мейснера, тактильні рецептори – чутливі рецептори, які знаходяться у сосочковому шарі дерми (рис. 2, б). Створюють відчуття дотику, хоча не є єдиними дотиковими рецепторами. Ці рецептори названі на честь німецького анатома Георга Мейснера. Важливо відмітити те, що саме нижній та верхній поріг чутливості в конкретних умовах виробництва відіграють головну роль на умови та безпеку праці робітника.

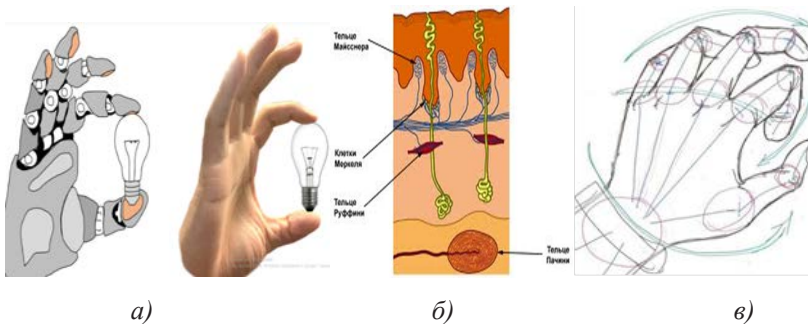


Рис. 2. Тактильні відчуття долоні руки: а) дотику та тиску, б) механорецептори сосочкового шару дерми, в) кінестетичні відчуття кисті руки певної професійної операції

Більш товсті рукавички можуть обмежити спритність, здатність та спроможність дрібної моторики, як тактильні відчуття, так і кінестетичні відчуття (рис. 2, в).

Одержані за сукупністю результати візуалізації шкіри долоні людини (рис. 3), а також аналіз проведених раніше досліджень [12], стали підставою для подальшого розвитку теоретичних уявлень стосовно об'єкту дослідження дотик/контакт.

У результаті проведеної науково-дослідної роботи розв'язано низку задач шляхом експертного опитування по забезпеченню:

- максимальної ефективності професійної діяльності;
- максимальної безпеки та оптимізації умов трудової діяльності;
- комфортності трудової діяльності.

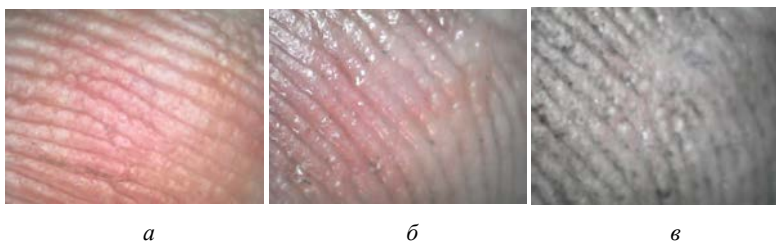


Рис. 3. Мікрофотографії поверхні шкіри вказівного пальця механіка (x10) верстату для плоскої шліфовки сталей: а) нормальна шкіра без зовнішнього впливу; б) шкіра що контактувала з машинним маслом; в) шкіра, що контактувала

З цієї точки зору підготовка поверхні до нанесення органічного або неорганічного покриття є найбільш трудомісткою операцією, від якої залежить якість отриманих деталей. При присутності на поверхні деталей навіть незначної тонкої жирової або оксидної плівки покриття буде неякісним, з мішурами або найчастіше з здуттям. Особливо небезпечні органічні забруднення. Таким чином, жорсткі вимоги до контролю поверхонь пов'язані не тільки з встановленням нормативів до шорсткості поверхонь, пористості матеріалу поверхні деталі, але і від наявності органічних забруднень поверхні та вибору методу для очистки деталі. Тип забруднення, наявність, наприклад, машинної оливи, визначають метод очищення поверхні та в кінцевому підсумку впливають на якість і собівартість виробу.

Для цього використовують різні технології знежирення поверхні металу або сплаву: механічне очищення, абразивне очищення, очищення травленням, фосфатуванням, хроматуванням, пасивуванням тощо.

Поставлені завдання певною мірою корелюються з нещодавніми дослідженнями проведеними авторами та пов'язаними з впливом типу забруднення поверхні шкіри (рис. 3). Встановлено, що від 60 до 70% всіх дефектів, виявлених на виробництві, прямо або посередньо відносяться до помилок, допущених на таких ділянках, як проектування, технологічна підготовка виробництва та закупівля матеріалів. Варто наголосити все ж, що майже всі перевірки та дії з управління якістю все-таки спрямовані на виробничу дільницю.

Висновки. В умовах стрімкого росту досягнень науково-технічного прогресу та інтеграції світової економіки система «людина-машина-середовище» еволюціонує, розвивається та удосконалюється. Це забезпечується гармонізацією ергономічних властивостей між людиною та машиною, які направлені на:

- максимальну ефективність професійної діяльності;
- безпеку та оптимізацію умов трудової діяльності;
- забезпечення комфортності трудової діяльності.

Напрацьовані критерії можуть забезпечити більш дієву взаємодію по лінії «постачальник захисних рукавичок – конкретний споживач засобів захисту рук», з врахуванням, як індивідуальних потреб працівника, так і вимог виробництва.

При формуванні вимог до засобів захисту рук для конкретних умов професійної діяльності потрібно враховувати, як захисні властивості рукавичок, так і незручності (обмеження рухів кисті рук кінестетичні відчуття, погіршення тактильних відчуттів), що обумовлені звичною фізіологічною потребою, пов'язаною з потінням шкіри долоні та пальців рук. Ці питання можуть бути вирішені шляхом кастомізації, як дієвої форми взаємодії між об'єктом та суб'єктом товарних

та виробничих відносин, що спрямована на покращення споживчих властивостей товару. Конкретний фахівець галузі може виступати партнером щодо вирішення перспективних завдань для виробника, який безпосередньо враховує відповідну думку споживача на всіх етапах життєвого циклу товару.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ISO 9000. URL: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=ISO_9000§ion=1&oldid=40413419&veaction=edit
2. Сергєєв П. В., Білецький В. С. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів переробки корисних копалин (практикум). Маріуполь: Східний видавничий дім, 2016. 119 с.
3. Системи управління якістю. Вимоги. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Національний стандарт України. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 30 с.
4. Ягліньський В. П., Іоргачов Д. В. Моделювання динамічних процесів роботизованого виробництва. Одеса: Астропринт, 2004. 232 с.
5. Здолбіцька Н. В., Костючко С. М., Ковальчук П. Є. та ін. Система керування роботом-маніпулятором. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: науковий журнал. Луцьк, 2020. Вип. 40. С. 37–43.
6. Glove. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Glove>.
7. Загальні вимоги до рукавиць: ДСТУ EN 420:2001. [Чинний від 2003-01-07]. Національний стандарт України. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. 18 с.
8. Засоби індивідуального захисту рук. Спеціальні рукавички для захисту від термічного впливу (тепла та/чи полум'я). ДСТУ EN 407:2005. [Чинний від 2008-03-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 9 с.
9. Рукавички для захисту від механічних ушкоджень. Загальні технічні вимоги та методи випробування. ДСТУ EN 388:2005. [Чинний від 2003-01-07]. Національний стандарт України. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 16 с.
10. Костін М. О., Колісниченко А. С., Фордзюн Ю. І. Номенклатура показників якості засобів захисту рук системи "знаряддя праці-механік-професійне середовище". 2019. URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi27Nj7q72KAxUWgv0HHS3qHfsQFnoECBYQAQ&url=http%3A%2F%2Fdspace-s.msu.edu.ua%3A8080%2Fhandle%2F123456789%2F4830%3Flocale%3Dru&usq=AOvVaw1gtPj_cICWbqpjO-VKaedm&opi=89978449
11. Проць А. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів: навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. 232 с. URL: https://web.archive.org/web/20160304125410/http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/783/1/Textbook-Prats_Ya-Gripping_devices_of_industrial_robots_2008.pdf.
12. Melo A. I., González-Mariscal G., Litwack G. at all. Vitamins and Hormones, Pheromones, Academic Press. Vol. 83. P. 351-371.

REFERENCES:

1. ISO 9000. Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=ISO_9000§ion=1&oldid=40413419&veaction=edit.
2. Serhieiev, P. V. & Biletskyi, V. S. (2016). *Komp'yuterne modeliuвання tekhnologichnykh protsesiv pererobky korysnykh kopalyn (prakytykum)* [Computer modeling of technological processes of mineral processing (workshop)]. Mariupol: Eastern Publishing House.
3. *Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy. Natsionalnyi standart Ukrainy* [Quality management systems. Requirements. National standard of Ukraine]. (2016). DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Kyiv: State Enterprise "UkrNDNTS".

4. Yahlinskyi, V. P. & Iorhachov, D. V. (2004). *Modeliuvannia dynamichnykh protsesiv robotyzovanoho vyrobnytstva* [Modeling of dynamic processes of robotic production]. Odesa: Astroprint.
5. Zdolbitska, N. V., Kostiuchko, S. M., Kovalchuk, P. Ye. (2020). Systema keruvannia robotom-manipulatorom [Robot-manipulator control system]. *Computer-integrated technologies: education, science, production*, 40, 37–43.
6. Glove. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Glove>.
7. *Zahalni vymohy do rukavyts. Natsionalnyi standart Ukrainy* [General requirements for gloves. National standard of Ukraine]. (2003). DSTU EN 420-2001. Effective from 2003-01-07. Kyiv: State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy.
8. *Zasoby indyvidualnoho zakhystu ruk. Spetsialni rukavychky dlia zakhystu vid termichnoho vplyvu (tepla ta/chy polum'ia)* [Personal protective equipment for hands. Special gloves for protection against thermal effects (heat and/or flame)]. (2008). DSTU EN 407:2005. Effective from 2008-03-01. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy.
9. *Rukavychky dlia zakhystu vid mekhanichnykh uskodzen. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvannia. Natsionalnyi standart Ukrainy* [Gloves for protection against mechanical damage. General technical requirements and test methods. National standard of Ukraine]. (2008). DSTU EN 388:2005. Effective from 2003-01-07. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
10. Kostin, M. O., Kolisnichenko, A. S. & Fordziun, Yu. I. (2019). Nomenklatura pokaznykiv yakosti zasobiv zakhystu ruk systemy "znariaddia pratsi-mekhanik-profesiine seredovyshche" [Nomenclature of quality indicators of hand protection means of the system "tool-mechanic-professional environment"]. Retrieved from: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewi27Nj7q72KAXUWgv0HHS3qHfsQFnoECBYQAQ&url=http%3A%2F%2Fdspace.s.msu.edu.ua%3A8080%2Fhandle%2F123456789%2F4830%3Flocale%3Dru&usg=AOvVaw1gtPj_cICWbqpjO-VKaedm&opi=89978449.
11. Prots, A. I. (2008). *Zakhopliuvalni prystroi promyslovykh robotiv* [Grasping devices of industrial robots]. Ternopil: Ternopil State Technical University named after I. Pulyuy. Retrieved from: https://web.archive.org/web/20160304125410/http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/783/1/Textbook-Prots_Ya-Gripping_devices_of_industrial_robots_2008.pdf.
12. Melo, A. I., González-Mariscal, G. & Litwack, G. at all. Vitamins and Hormones, Pheromones, Academic Press, 83, 351-371.

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

FOOD TECHNOLOGY

УДК 579.66:664

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.17>

ФЕРМЕНТАЦІЯ ЯК КЛЮЧ ДО ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ: ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА ЙОГУРТИ ТА КВАШЕНІ ОВОЧІ

Вогнієвко Л. П. – кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0002-6381-6659

Шерман А. А. – здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0003-6571-8881

Ланевич Л. І. – здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0005-7470-8874

У статті детально розглядається процес ферментації йогурту та квашених овочів, акцентуючи свою увагу на мікробіологічних процесах, що лежать в основі цього процесу, а також на факторах, які впливають на якість та структуру готового продукту. Аналізуючи роль молочнокислих бактерій у ферментації йогурту, їх здатність до розкладу лактози та утворення молочної кислоти, надає продукту характерну консистенцію та смак. Водночас особлива увага приділяється температурі, вологості та рівню кислотності на ефективність ферментації, що є важливим для досягнення стабільності та безпеки продукту.

Також досліджено значення пробіотичних бактерій, які утворюються під час ферментації йогурту та квашення овочів, та їхній позитивний вплив на здоров'я людини. Зокрема, зазначено, що пробіотики сприяють нормалізації мікрофлори кишечника, зміцненню імунної системи та покращенню травлення. Окрім того, під час процесу ферментації овочі зберігають в собі вміст вітамінів, антиоксидантів та інші корисні біоактивні сполуки, що покращують харчову цінність зміцнюючи здоров'я людини.

Таким чином, ферментація йогурту та квашених овочів є важливим технологічним процесом, який не тільки покращує харчову цінність продуктів, а й має велике значення для здоров'я людини.

В матеріалі описується цінність поживних речовин, що містяться: в буряці (насамперед бета-каротин – потужних антиоксидантів, які нейтралізують вільні радикали та допомагають знижувати рівень стресу).

Гарбузі (високий вміст каротиноїдів, серед яких важливе місце займає бета-каротин). Ця речовина виконує роль антиоксиданту і є попередником вітаміну А, який необхідний для підтримки здоров'я зору, функціонування імунної системи та підтримки стану шкіри).

Броколі (сульфорафан, який міститься у даному овочі є потужним антиоксидантом, що активує захисні ферменти в організмі, допомагаючи боротися з вільними радикалами та токсинами).

Ключові слова: ферментація, йогурт, мікроорганізми, біотехнології, квашені овочі, харчова цінність, збереження продуктів, екологічна стійкість, кисломолочна продукція, пробіотики.

Vohnivenko L. P., Sherman A. A., Lanevych L. I. Fermentation as a key to enhancing nutritional value: a study of its impact on yogurts and fermented vegetables

The article discusses in detail the process of fermentation of yogurt and sauerkraut, focusing on the microbiological processes underlying this process, as well as the factors that affect the quality and structure of the finished product. Analyzing the role of lactic acid bacteria in the fermentation of yogurt, their ability to break down lactose and produce lactic acid, which gives the product its characteristic texture and taste. At the same time, special attention is paid to the effect of temperature, humidity, and acidity on fermentation efficiency, which is important for achieving product stability and safety.

The importance of probiotic bacteria formed during the fermentation of yogurt and sauerkraut and their positive impact on human health is also investigated. In particular, it is noted that probiotics contribute to the normalization of intestinal microflora, strengthening the immune system and improving digestion. In addition, during the fermentation process, vegetables retain the content of vitamins, antioxidants and other beneficial bioactive compounds that improve nutritional value and strengthen human health.

Thus, the fermentation of yogurt and sauerkraut is an important technological process that not only improves the nutritional value of products, but is also of great importance for human health.

The material describes the value of nutrients contained in: beets (the presence of betaalanine – powerful antioxidants that neutralize free radicals and help reduce stress levels).

Pumpkin (high content of carotenoids, among which beta-carotene occupies an important place. This substance acts as an antioxidant and is a precursor to vitamin A, which is necessary for maintaining healthy vision, functioning of the immune system and maintaining skin condition)

Broccoli (sulforaphane, which is contained in this vegetable, is a powerful antioxidant that activates protective enzymes in the body, helping to fight free radicals and toxins).

Key words: fermentation, yogurt, microorganisms, biotechnology, sauerkraut, nutritional value, food preservation, environmental sustainability, fermented dairy products, probiotics.

Вступ. Ферментація є одним із найдавніших процесів обробки продуктів, який використовується людством протягом тисячоліть. Цей метод дозволяв нашим предкам не лише зберігати їжу протягом тривалого часу, а й покращувати її харчову цінність та смакові властивості. Сьогодні ферментація відіграє важливу роль у харчовій промисловості, а інтерес до ферментованих продуктів зростає у зв'язку зі збільшенням попиту на здорове харчування. Ферментовані продукти, такі як йогурти та квашені овочі, стали популярними не лише через свій приємний смак, а й завдяки багатому поживному складу, що включає пробіотики, вітаміни, антиоксиданти та амінокислоти.

Сучасні дослідження підтверджують, що регулярне вживання ферментованих продуктів має позитивний вплив на здоров'я людини. Вони сприяють покращенню імунітету, нормалізації травлення, а також зниженню ризику розвитку різних захворювань. Пробіотики, що містяться у таких продуктах, допомагають підтримувати баланс корисних бактерій у шлунково-кишковому тракті, що є важливим для загального здоров'я. Окрім, того, антиоксиданти, які утворюються під час ферментації, захищають клітини організму від ушкоджень [1].

Актуальність теми. З огляду на все більше занепокоєння про якість та користь продуктів харчування, ферментовані продукти стають важливою складовою раціону багатьох споживачів. Вони поєднують у собі високу харчову цінність, приємний смак та користь для здоров'я, що робить їх популярними серед прихильників здорового способу життя. Процес ферментації надає можливості створювати продукти з новими органолептичними характеристиками, багатими

на біологічно-активні речовини, які позитивно впливають на фізіологічні процеси в організмі.

Враховуючи сучасні тенденції до здорового харчування та зростання популярності натуральних продуктів, ферментація стає незамінним методом обробки продуктів, що дозволяє зберегти їх поживні властивості та поліпшити їхній склад. Також, сприяє створенню продуктів із високою харчовою цінністю, які відповідають вимогам сучасного споживача щодо якості, безпеки та користі для здоров'я.

Таким чином, дослідження впливу ферментації на йогурти та квашені овочі є актуальним питанням, що дозволяє зрозуміти, як саме цей процес покращує якість продуктів та їхні функціональні властивості.

Постановка проблеми. Сучасна харчова промисловість стикається з безліччю проблем, однією з найголовніших з яких є забезпечення поживними продуктами, що сприяють зміцненню здоров'я і загального благополуччя споживачів. У зв'язку зі зростанням кількості захворювань, пов'язаних із неправильним харчуванням, таких як ожиріння, діабет, серцево-судинні та шлунково-кишкові захворювання. Споживачі дедалі частіше шукають продукти, які не тільки задовольняють їхні особисті потреби, а й забезпечують додаткові переваги для здоров'я. Водночас багато традиційних продуктів харчування не забезпечують необхідного рівня поживних речовин і мікроелементів, необхідних для повноцінного благополуччя організму людини.

Ферментація – один з найстаріших методів обробки продуктів харчування, що дає змогу значно підвищити харчову цінність, проте питання її впливу на якість і функціональні властивості продукту залишається актуальним. Деякі види ферментованих продуктів уже мають доведену користь для здоров'я, але процес ферментації сильно варіюється залежно від умов, використовуваних мікроорганізмів і типу сировини. Необхідно вивчати вплив цих факторів, щоб оптимізувати процес ферментації для отримання максимальної користі для організму людини [2].

Ще однією проблемою є брак знань про біохімічні зміни, що відбуваються в продуктах під час ферментації, і про те, як ці зміни впливають на їхню харчову цінність. Наприклад, йогурт і ферментовані овочі можуть містити різну кількість пробіотиків, вітамінів і антиоксидантів залежно від тривалості ферментації та типу використаних мікроорганізмів. Також необхідні дослідження того, як ферментовані продукти можуть сприяти зміцненню імунної системи, поліпшенню роботи шлунково-кишкового тракту і зниженню ризику хронічних захворювань.

Мета дослідження Метою даного дослідження є оцінка впливу процесу ферментації на підвищення харчової цінності продуктів, зокрема йогуртів та квашених овочів. У рамках роботи досліджується зміна вмісту корисних речовин, таких як вітаміни, пробіотики, антиоксиданти та амінокислоти, під впливом ферментації. Також аналізується вплив ферментації на смакові та органолептичні властивості продуктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ферментація привернула значну увагу вчених завдяки своєму впливу на підвищення поживної цінності продукту. Недавні дослідження показали, що ферментація може значно збільшити вміст поживних речовин в їжі та поліпшити її смакові якості. Одним з важливих аспектів таких досліджень є аналіз впливу ферментації на кількість пробіотиків, антиоксидантів, вітамінів та інших біологічно активних речовин.

Бойко Н. Р. у своїй дослідницькій роботі представив наукове обґрунтування й практичну реалізацію технології виробництва функціонального йогурту, збагаченого пюре з селери. Дослідження показали, що додавання 25–30% пюре з селери

зменшує час ферментації на 1 годину, що підвищує ефективність виробничого процесу. Крім того, введення селери позитивно впливає на стабільність готового продукту, знижуючи рівень синерезису в 3–4 рази [3].

У науковій роботі «Пробіотики і їх роль у виробництві кисломолочних продуктів спеціального призначення», автори Соломон А. М. та Полевода Ю. А. дослідили важливість використання пробіотичних культур у виробництві кисломолочних продуктів, орієнтованих на спеціальне призначення. У статті розглядається вплив пробіотиків на поліпшення функціональних властивостей таких продуктів, зокрема, на зниження вмісту лактози, що робить їх доступними для людей з непереносимістю лактози. Окрім того, було зазначено, що пробіотичні культури здатні синтезувати вітаміни групи В, а також інші біологічно активні сполуки, які сприяють зміцненню імунної системи, покращенню травлення та загальному оздоровленню організму [4, 6].

У кваліфікаційній роботі «Дослідження впливу нативних екзометаболітів на розвиток лактобактерій» Владислав Онопрієнко та керівник Наталія Двінських дослідили роль екзометаболітів у розвитку лактобактерій, зокрема їх вплив на ріст та метаболічні процеси. В даній роботі було доведено, що природні екзометаболіти, виділені з біологічних систем, мають здатність стимулювати ріст і активність молочнокислих бактерій і можуть покращувати їх ферментативну функцію, зокрема ферментацію і синтез органічних кислот [5].

Таким чином, аналіз останніх досліджень свідчить про значний потенціал ферментації у покращенні якості продуктів харчування. Ферментовані продукти мають підвищений вміст вітамінів, пробіотиків та інших речовин, роблять їх корисними для здоров'я людини. Проте, незважаючи на численні дослідження, існує необхідність у подальшому вивченні процесів ферментації для визначення оптимальних умов, які дозволять отримати продукти з максимальними корисними властивостями.

Виклад основного матеріалу. Оскільки ферментація може суттєво змінювати хімічний склад продуктів, дослідження цього процесу в контексті йогурту та овочів вимагає ретельних аналізів та досліджень, через нові уявлення про можливості їх використання в раціоні здорового харчування.

В даному дослідженні для проведення експериментів було обрано ферментація трьох видів овочів (буряк, гарбуз та броколі), а також молочний продукт – йогурт. Основною метою є вивчення впливу ферментації на харчову цінність цих продуктів, зокрема на вміст вітамінів, антиоксидантних сполук та пробіотичних бактерій, а також оцінка органолептичних характеристик.

Буряк є одним із найцінніших овочів завдяки своїм харчовим властивостям і насиченому складу поживних речовин. Його яскраво-червоний колір обумовлений наявністю беталаніну – потужних антиоксидантів, які нейтралізують вільні радикали та допомагають знижувати рівень стресу в організмі. Окрім того, буряк багатий на фолієву кислоту, що сприяє нормалізації процесів кровотворення, а також містить клітковину, яка підтримує здорову роботу травного тракту.

Гарбуз є одним з найпопулярніших осінніх овочів, і не дарма: він багатий на поживні речовини, які сприяють зміцненню здоров'я. Яскравий помаранчевий колір гарбуза свідчить про високий вміст каротиноїдів, серед яких важливе місце займає бета-каротин. Ця речовина виконує роль антиоксиданту і є попередником вітаміну А, який необхідний для підтримки здоров'я зору, функціонування імунної системи та підтримки стану шкіри [7].

Броколі – це один із найцінніших овочів завдяки своїм унікальним харчовим властивостям. Особливу увагу заслуговує сульфорафан, який міститься у броколі

в значних кількостях. Ця речовина є потужним антиоксидантом, що активує захисні ферменти в організмі, допомагаючи боротися з вільними радикалами та токсинами. Також вони є чудовим джерелом харчових волокон, які допомагають нормалізувати травлення та підтримують здоровий рівень цукру в крові.

Для оцінки впливу ферментації було використано наступні методи:

1. Аналіз харчовій цінності до та після ферментації.
2. Вимірювання антиоксидантної активності та біодоступності нутрієнтів.
3. Визначення кількості пробіотиків та їхньої активності в продукті.
4. Органолептична оцінка експериментальних зразків.

Аналіз харчовій цінності до та після ферментації. Для визначення змін у складі макро- та мікронутрієнтів овочів було проведено хімічний аналіз до та після ферментації. Визначено рівень білків, жирів, вуглеводів, вітамінів та мінералів. Порівняння складу овочів до і після ферментації показало збільшення концентрації вітаміну С, а також підвищення рівня деяких антиоксидантних сполук. Детально ознайомитися можна в таблиці 1.

Таблиця 1

Вплив ферментації на вміст поживних речовин

Експериментальний зразок	Макроелементи г/100 г		Вміст вітамінів мг/100 г	
	До ферментації	Після ферментації	До ферментації	Після ферментації
Буряк	Білки: 1,5 Жири: 0,1 Вуглеводи: 9,6	Білки: 1,6 Жири: 0,2 Вуглеводи: 8,5	B2: 0,03 C: 3	B2: 0,05 C: 5
Гарбуз	Білки: 1,1 Жири: 0,2 Вуглеводи: 6,5	Білки: 1,2 Жири: 0,3 Вуглеводи: 5,8	A: 300 C: 4	A: 450 C: 6
Броколі	Білки: 2,8 Жири: 0,3 Вуглеводи: 9,67,1	Білки: 3,0 Жири: 0,4 Вуглеводи: 6,0	B2: 0,05 C: 89	B2: 0,08 C: 110

З аналізу таблиці можна зробити наступні висновки, що після ферментації відбулося помітне збільшення вітаміну С у всіх овочах, що є наслідком розкладу клітинних стінок під дією ферментів.

Вимірювання антиоксидантної активності та біодоступності нутрієнтів. Ферментація також впливає на антиоксидантну активність овочів. Антиоксиданти здатні нейтралізувати вільні радикали в організмі людини, тим самим знижуючи ризик виникнення багатьох захворювань, зокрема серцево-судинних хвороб і раку. Результати дослідження представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив ферментації на антиоксидантну активність та біоактивні компоненти

Експериментальний зразок	Антиоксидантна активність мг/100 г		Поліфеноли мг/100 г		Каротиноїди, мкг/100 г	
	До	Після	До	Після	До	Після
Буряк	65	90	20	35	—	—
Гарбуз	50	72	—	—	300	450
Броколі	45	68	—	—	—	—

Результати показали, що ферментація значно підвищує рівень антиоксидантної активності та кількість поліфенолів у буряку та інших овочах. Це свідчить про те, що процес ферментації може бути ефективним для покращення антиоксидантної активності овочів.

Визначення кількості пробіотиків та їхньої активності в продукті. Було проведено мікробіологічні дослідження для оцінки кількості пробіотичних бактерій. Для цього використовувався метод обчислення колонієутворюючих одиниць та визначили їхню життєздатність. Результати дослідження представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Вміст пробіотиків та їх активність в експериментальних зразках до та після ферментації

Експериментальний зразок	Кількість пробіотиків до ферментації	Кількість пробіотиків після ферментації
Буряк	1,2×10 ³	8,5×10 ⁵
Гарбуз	1,0×10 ³	6,2×10 ⁵
Броколі	1,4×10 ³	7,0×10 ⁵

З аналізу таблиці стає зрозуміло, що результати дослідження проказали значне збільшення кількості пробіотичних бактерій в усіх овочах після ферментації, що підтверджує ефективність цього процесу для покращення мікробіоти кишечника.

Органолептична оцінка експериментальних зразків. При дослідженні органолептичних показників було оцінено якість смаку, запаху, текстури та зовнішнього вигляду продуктів до та після ферментації. Для оцінки показників взято методи оцінки стандартними шкалами та експериментальних оцінок. Детально ознайомитися можна в таблиці 4 та таблиці 5.

Таблиця 4

Органолептична оцінка експериментальних зразків до ферментації

Експериментальний зразок	Смак	Аромат	Текстура	Насиченість кольору	Кислотність (1–5)	Солодкість (1–5)	Загальна оцінка якості
Буряк	Солодкий	Легкий, земляний	Тверда	Червоний	1	4	Середня
Експериментальний зразок	Смак	Аромат	Текстура	Насиченість кольору	Кислотність (1–5)	Солодкість (1–5)	Загальна оцінка якості
Гарбуз	Солодкий	Легкий, приємний	Щільна	Світло-жовтий	1	5	Середня
Броколі	Нейтральний	Легкий, трав'яний	Щільна	Світло-зелений	1	2	Низька

Таблиця 5

Органолептична оцінка експериментальних зразків після ферментації

Експериментальний зразок	Смак	Аромат	Текстура	Насиченість кольору	Кислотність (1–5)	Солодкість (1–5)	Загальна оцінка якості
Буряк	Кисло-солодкий	Більш інтенсивний	М'яка	Насичено-червоний	3	3	Висока
Гарбуз	Менш солодкий з кислинкою	Легкий, ніжний	М'яка	Яскраво-жовтий	2	3	Висока
Броколі	Легка кислинка	Сильний, трав'яний	Більш ніжна	Яскраво-зелений	4	1	Висока

Органолептична оцінка експериментальних зразків після ферментації показали значні зміни в порівнянні з їх первісним станом. Овочі стали м'якішими, з'явилася більш виражена кислинка, а також посилились смакові та ароматичні властивості. Усі продукти отримали високі оцінки за смаковими властивостями та загальною якістю.

Також розглянемо більш детально ферментацію як ключ до підвищення харчової цінності: дослідження впливу на йогурти. Ферментація може значно збільшити вміст корисних бактерій (пробіотиків), що позитивно впливає на здоров'я кишечника, а також покращити засвоєння поживних речовин. Дослідження в цій галузі можуть зосереджуватися на оптимізації процесів ферментації для досягнення кращих органолептичних характеристик та поживної цінності продукту.

Схема процесу ферментації йогурту:

Молоко Пастеризація Охолодження до температури (42–45°C)

Додавання стартових культур (лактобактерії, стрептококи)

Ферментація (6–12 годин, підтримка температури)

Охолодження (до 4°C)

Готовий продукт (йогурт)

Опис етапів процесу ферментації йогурту:

1. Молоко (підготовка сировини):

– Використовують молоко різної жирності (від знежиреного до жирного), яке є основою для виробництва йогурту.

– Молоко може бути коров'ячим, козячим або овечим в залежності від виду йогурту.

2. Пастеризація:

– Молоко нагрівають до температури 85-90°C, щоб знищити всі патогенні бактерії та мікроорганізми, що можуть бути присутні в сирому молоці.

3. Охолодження:

– Після пастеризації молоко охолоджують до температури 42–45°C, щоб запустити процес ферментації, оскільки саме ця температура є оптимальною для розвитку заквасок.

– Охолодження забезпечує контрольовані умови для правильного розвитку бактерій.

4. Додавання стартових культур:

– В цей етап вводять спеціальні пробіотичні культури бактерій (зазвичай *Lactobacillus bulgaricus* і *Streptococcus thermophilus*).

– Стартові культури є необхідними для початку процесу ферментації, оскільки вони розщеплюють лактозу на молочну кислоту, яка і забезпечує характерну консистенцію йогурту.

5. Ферментація:

– Молоко, з доданими культурами, залишають в термостаті при температурі 42–45°C на 6–12 годин.

– В процесі ферментації бактерії розкладають лактозу на молочну кислоту, що сприяє згущенню молока та утворенню характерної консистенції йогурту.

– Тривалість ферментації впливає на кислотність йогурту – чим довше триває ферментація, тим більш кислим буде йогурт.

6. Охолодження (зупинка процесу ферментації):

– Після завершення ферментації продукт охолоджують до температури 4°C, щоб припинити подальший ріст бактерій та стабілізувати продукт.

– Охолодження дозволяє зберегти смакові якості йогурту та гарантує його безпечне зберігання.

7. Готовий продукт (Йогурт):

– Після охолодження йогурт готовий до споживання.

– В результаті ферментації йогурт набуває характерної текстури, кислого смаку і корисних властивостей завдяки пробіотичним бактеріям.

Ферментація та харчова цінність йогурту:

– *Покращення засвоєння кальцію:* Лактобактерії в процесі ферментації виробляють органічні кислоти, що допомагають розчиняти кальцій у молоці і покращують його засвоєння в організмі.

– *Більш легке засвоювання лактози:* Завдяки ферментації йогурт стає менш жирним і більш легко засвоюваним для людей, які не переносять лактозу.

– *Вітаміни та мінерали:* Ферментація підвищує рівень деяких вітамінів групи В (В₂, В₆, В₁₂), а також інших важливих нутрієнтів.

Ферментація є ключовим етапом у виробництві йогурту, оскільки вона визначає не тільки смакові та текстурні характеристики продукту, але й його харчову цінність. Процес ферментації здійснюється завдяки бактеріям, що перетворюють лактозу молока в молочну кислоту. Цей процес сприяє згущенню молока і надає йогурту характерний кислий смак. Крім того, ферментація має значний вплив на здоров'я людини, завдяки утворенню пробіотичних бактерій, які сприяють поліпшенню мікрофлори кишечника, покращують травлення і зміцнюють імунну систему. Завдяки ферментації йогурт набуває таких корисних властивостей, як знижена кількість лактози, що робить продукт доступним для людей з непереносимістю лактози.

Процес ферментації також підвищує біодоступність кальцію та інших мінералів, що позитивно впливає на здоров'я кісток. Оптимальні умови ферментації (правильна температура (42–45°C) та час (6–12 годин)) є важливими для досягнення бажаної консистенції йогурту та збереження всіх корисних властивостей. Тому контроль за процесом ферментації є необхідним для виробництва високоякісного йогурту, який буде не лише смачним, але й корисним для здоров'я.

Отже, ферментація є основою для виробництва йогурту з високими харчовими та функціональними властивостями, що робить цей продукт корисним доповненням до раціону здорової людини.

Висновки. Ферментація йогурту та квашених овочів є важливими біотехнологічними процесами, що покращують харчову цінність та зберігання продуктів, збагачують їх корисними мікроорганізмами (пробіотиками) і підвищують засвоюваність поживних речовин. Ці продукти мають важливе значення для здоров'я

людини, покращуючи функціонування травної системи, зміцнюючи імунітет і сприяючи загальному зміцненню здоров'я. Оскільки процеси ферментації є природними і безпечними, вони дозволяють створювати здорові, смачні та корисні продукти для повсякденного вживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гніцевич В., Доронін К. *Стартові культури у харчових технологіях*. Міжнародний науково-практичний журнал «Товари і ринки», 2024. № 2(50). С. 65–76.
2. Дубініна А. А., Хацкевич М. Ю., Попова М. Т., Ленерт О. С. Загальна технологія харчових виробництв [Електронний ресурс]. Харків: ХДУХТ. 2016.
3. Бойко Н. Р. Розробка рецептури та удосконалення технології виробництва кисломолочного продукту з селерою з проєктуванням цеху виробництва: Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю «181 – Харчові технології». Тернопіль: ТНТУ. 2023.
4. Соломон А. М., Полєвода Ю. А. Пробиотики і їх роль у виробництві кисломолочних продуктів спеціального призначення [Електронний ресурс]. Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2019. № 3(106). С. 56–65.
5. Двінських Н. В., Хохленкова Н. В., Онопрієнко В. О. Значення лактобактерій – продуцентів екзополісахаридів в заквасках. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення біотехнології», 23–24 вересня 2022 р., Київ С. 43–44. Київ: Національний авіаційний університет.
6. Філімонова Н. І., Дика О. М. та ін. Основні властивості пробіотиків. Клінічна фармація, 2014. № 15(2). С. 38–40.
7. Сезонний суперфуд – гарбузове насіння: веб-сайт. (н.д.). UNIAN. Доступно за адресою: <https://www.unian.ua/recipes/garbuzove-nasinnya-korist-shkoda-protipokazannya-kaloriynist-11531893.html>

REFERENCES:

1. Gnitsevich V., Doronin K. (2024). *Starter cultures in food technologies*. International scientific and practical journal "Goods and Markets". No. 2(50). P. 65–76.
2. Dubinina A. A., Khatskevich M. Yu., Popova M. T., Lenert O. S. (2016). *General technology of food production* [Electronic resource]. Kharkiv: KhDUKHT.
3. Boyko N. R. (2023). Development of a recipe and improvement of the technology for the production of a fermented milk product with celery with the design of a production workshop: Master's qualification work in the specialty "181 – Food technologies". Ternopil: TNTU.
4. Solomon A. M., Polevoda Yu. A. (2019). Probiotics and their role in the production of special-purpose fermented milk products [Electronic resource]. *Technology, Energy, Transport APC*, No. 3(106). P. 56–65.
5. Dvinskykh N. V., Khokhlenkova N. V., Onoprienko V. O. (2022). The importance of lactobacilli – producers of exopolysaccharides in starter cultures. In *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Latest Advances in Biotechnology"*, September 23–24, 2022. Kyiv. P. 43–44. Kyiv: National Aviation University.
6. Filimonova N. I., Dyka O. M. et al. (2014). The main properties of probiotics. *Clinical Pharmacy*, No. 15(2), P. 38–40.
7. Seasonal superfood – pumpkin seeds: website. (n.d.). UNIAN. Available at: <https://www.unian.ua/recipes/garbuzove-nasinnya-korist-shkoda-protipokazannya-kaloriynist-11531893.html>

УДК 349.422

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.18>

ДОСЛІДЖЕННЯ САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИХ ВИМОГ ДО ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В УКРАЇНІ ТА В КРАЇНАХ ЄС

Горач О. О. – доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-8737-5002
Scopus-Author ID: 57426262700

В статті проведено дослідження санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств в Україні та в країнах ЄС. Санітарно-гігієнічні вимоги до підприємств харчової промисловості є важливим аспектом забезпечення безпечності харчових продуктів та захисту здоров'я споживачів. В умовах глобалізації та інтеграції в міжнародну економічну структуру питання стандартів якості та безпеки харчових продуктів набуває особливого значення для багатьох країн, в тому числі і для України.

Європейський Союз вже давно запровадив комплексні заходи для забезпечення високих стандартів безпечності харчових продуктів, які є основою національних систем у країнах-членах ЄС. Однак в Україні гігієнічні та санітарні вимоги до підприємств харчової промисловості змінюються з переходом на європейські стандарти та приведенням законодавства у відповідність до вимог ЄС. Водночас, забезпечення належного контролю та дотримання цих вимог має безпосереднє відношення не лише до здоров'я населення, але й до конкурентоспроможності українських харчових продуктів на міжнародному ринку. Встановлено сильні та слабкі сторони існуючої в Україні законодавчої системи в сфері санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств. Представлені нормативно-технічні документи за якими здійснюється контроль за безпечністю виробництва харчових продуктів, а також основні вимоги до харчових підприємств.

Відповідно до проведеного дослідження санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств, можна зробити висновок, що Україна потребує вдосконалення систем управління та моніторингу, особливо на муніципальному рівні, для забезпечення більш ефективного впровадження санітарно-гігієнічних вимог. Необхідно підвищувати кваліфікацію та оснащення підприємств, тобто створювати сприятливі умови для малих підприємств для повного впровадження системи HACCP та забезпечення високих санітарно-гігієнічних стандартів. Визначено, що основна відмінність між санітарно-гігієнічними вимогами України та ЄС полягає в тому, що в ЄС діють більш жорсткі правила та контроль, що забезпечує високий рівень безпечності харчових продуктів. Україна має потенціал для вдосконалення власної системи на основі досвіду ЄС. Вимоги до безпечності харчових продуктів в Україні та ЄС схожі, але ЄС має більш сувору та централізовану систему контролю, а технічні регламенти є більш деталізованими та стандартизованими. Україна повинна вдосконалити свої системи контролю та підвищити підзвітність і прозорість на всіх етапах виробництва та зберігання харчових продуктів, щоб в повній мірі відповідати європейським стандартам якості.

Ключові слова: санітарно-гігієнічні вимоги, продовольча безпека, контроль, якість, нормативно-технічні документи, харчова промисловість.

Horach O. O. Research of sanitary and hygiene requirements for food enterprises in Ukraine and in EU countries

Setting objectives. The article studies sanitary and hygienic requirements for food enterprises in Ukraine and in the EU countries. Sanitary and hygienic requirements for food industry enterprises are an important aspect of ensuring food safety and protecting consumer health. In the context of globalization and integration into the international economic structure, the issue of food quality and safety standards is gaining special importance for many countries, including Ukraine. The European Union has long introduced comprehensive measures to ensure high standards of food safety, which are the basis of national systems in the EU member states. However, in Ukraine, hygienic and sanitary requirements for food industry enterprises are changing with the transition to European standards and bringing legislation into line with EU requirements. At the same time, ensuring proper control and compliance with these requirements

is directly related not only to public health, but also to the competitiveness of Ukrainian food products in international markets. The strengths and weaknesses of the existing Ukrainian legislative system in the field of sanitary and hygienic requirements for food enterprises are identified. The regulatory and technical documents that control the safety of food production are presented, as well as the main requirements for food enterprises.

Research results. *According to the conducted study of sanitary and hygienic requirements for food enterprises, it can be concluded that Ukraine needs to improve management and monitoring systems, especially at the municipal level, to ensure more effective implementation of hygiene requirements. It is necessary to improve the qualifications and equipment of enterprises, that is, to create favorable conditions for small enterprises to fully implement the HACCP system and ensure high standards of hygiene and sanitation. Thus, the main difference between the sanitary and hygienic requirements of Ukraine and the EU is that the EU has stricter rules and control, which ensures a high level of food safety.*

Conclusions. *Ukraine has the potential to improve its own system based on the experience of the EU. Food safety requirements in Ukraine and the EU are similar, but the EU has a stricter and centralized control system, and technical regulations are more detailed and standardized. Ukraine must improve its control systems and increase accountability and transparency at all stages of food production and storage to fully comply with European quality standards.*

Key words: *sanitary and hygienic requirements, food industry, food safety, control, quality, regulatory and technical documents.*

Постановка проблеми. На сьогоднішній день експорт вітчизняних харчових продуктів до європейських країн потребує чіткої відповідності стандартам якості ЄС щодо безпечності, викладеним у відповідних нормативно-правових актах ЄС. Вимоги до експортованої продукції можуть відрізнятися в різних регіонах. Тому, перш ніж експортувати українську аграрну продукцію та продукти харчування, вітчизняним виробникам слід провести дослідження ринку для пошуку подальших партнерів в ЄС і встановити специфічні вимоги до конкретного продукту [1–4].

Експорт продуктів харчування з України в Європу потребує дотримання загальних санітарно-гігієнічних норм Регламент ЄС № 852/2004, що охоплюють зокрема такі положення: обов'язки операторів щодо моніторингу безпечності продукції та процесів; загальні санітарно-гігієнічні правила та вимоги до первинного виробництва; детальні вимоги до всіх етапів виробництва, переробки та дистрибуції; розробка операторами ринку відповідних процедур, заснованих на принципах аналізу ризиків та контролю критичних точок НАССР; підготовка харчових продуктів; загальні умови, умови підготовки харчових продуктів відповідно до Директиви 89/108/ЄС про швидке заморожування, спеціальні умови підготовки харчових продуктів [5–8]. Таким чином, при плануванні експорту сільськогосподарської продукції та продуктів харчування необхідно переконатися, що стандарти на зазначену продукцію відповідають регламентам та надати пакет документів, що підтверджують відповідність [9–14].

Санітарно-гігієнічні вимоги до харчових підприємств є важливим аспектом забезпечення безпечності харчових продуктів та захисту здоров'я споживачів. В умовах глобалізації та інтеграції в міжнародну економічну структуру питання стандартів якості та безпечності харчових продуктів набуває особливого значення для багатьох країн, в тому числі і для України.

Особливо важливим є порівняння гігієнічних та санітарних вимог між різними регіонами світу, особливо між Європейським Союзом (ЄС) та Україною, де існують чіткі та стандартизовані системи управління якістю харчових продуктів. В Європейському Союзі вже давно діють комплексні заходи для забезпечення високих стандартів безпечності харчових продуктів, які є основою для національних систем у країнах-членах ЄС. Однак в Україні гігієнічні та санітарні вимоги до підприємств харчової промисловості розвиваються в контексті переходу на

європейські стандарти та адаптації законодавства до вимог ЄС. Водночас забезпечення належного контролю та дотримання цих вимог є питанням, яке безпосередньо впливає не лише на здоров'я населення, а й на конкурентоспроможність українських харчових продуктів на міжнародному ринку. З огляду на це, важливо порівняти санітарно-гігієнічні вимоги України та ЄС і проаналізувати відмінності в їхніх підходах до безпечності харчових продуктів. Це допоможе визначити сильні та слабкі сторони існуючої в Україні системи та виявити можливості для покращення управління санітарією та гігієною в країні, що є важливим кроком до інтеграції у світову економіку та забезпечення здоров'я споживачів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є дослідження санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств в Україні та в країнах ЄС.

Виклад основного матеріалу. Розширення торговельно-економічних зв'язків України із зарубіжними країнами призвело до значного збільшення імпорту харчових продуктів харчування з-за кордону. Однак постачальники не завжди дотримуються своїх контрактних зобов'язань щодо забезпечення якості харчових продуктів, що поставляються, що робить проблему контролю якості імпортованої продукції особливо необхідною [6–10].

Державний санітарний нагляд за імпортованою продовольчою сировиною і харчовими продуктами здійснюється з метою забезпечення їх якості та безпеки при використанні в національному продовольчому забезпеченні і проводиться санітарно-епідеміологічною службою, незалежно від форм власності, в органах, що здійснюють посередницьку діяльність.

Завданням державного санітарного нагляду в цій сфері є контроль відповідності імпортованої продукції встановленим гігієнічним показникам якості та визначення можливості її використання в якості харчових продуктів. До санітарних показників, що підлягають контролю, належать залишки пестицидів та їх метаболітів, токсини плісняви, важкі метали, мікроорганізми, антибіотики, гормони, нітрати, радіонукліди, забруднення іншими токсичними хімічними речовинами та біологічними сполуками, вміст харчових добавок [10–14].

Досліджуючи діючі санітарно-гігієнічні вимоги в Україні потрібно зазначити, що основною законодавчою базою для гігієнічних вимог до підприємств харчової промисловості в Україні є: Закон України «Про безпечність та якість харчових продуктів» (2013 р.); Гігієнічні правила та норми (ДСанПіН) регулюють гігієнічні вимоги до виробництва, зберігання, транспортування та реалізації харчових продуктів. Це сукупність нормативно-правових актів, що регламентують санітарні вимоги до виробництва, зберігання, транспортування та реалізації харчових продуктів.

Технічні регламенти та стандарти – вимоги до безпечності харчових продуктів, що базуються на міжнародних стандартах. Основні вимоги до харчового бізнесу в Україні є: система НАССР – її застосування є обов'язковим для всіх харчових підприємств, що займаються виробництвом та розповсюдженням харчових продуктів.

Умови праці – медичні огляди, санітарні кімнати, робочий одяг, дотримання вимог гігієни працівників.

Гігієнічні зони – чітке зонування на підприємстві: приготування, пакування, зберігання.

Технічні засоби та обладнання – вимоги до чистоти обладнання та технічних процесів, які не впливають негативно на якість та безпеку продукції.

Відповідальність за недотримання – серйозні штрафи або навіть закриття підприємства у разі порушення гігієнічних вимог.

Санітарно-гігієнічні вимоги в країнах ЄС базуються на спільній політиці щодо безпеки харчових продуктів, що передбачає:

1. Загальні принципи безпеки харчових продуктів (Регламент (ЄС) № 178/2002): забезпечення високого рівня захисту здоров'я споживачів. Усі учасники харчового ланцюга зобов'язані дотримуватися вимог безпеки харчових продуктів.

2. Система НАССР вона є обов'язковою для всіх підприємств, що працюють з харчовими продуктами. В країнах ЄС особливо є оцінка ризиків і моніторинг безпеки харчової продукції.

3. Європейський агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) – забезпечує незалежну наукову підтримку в оцінці ризиків харчових продуктів.

4. Норми гігієни харчових продуктів (Регламент (ЄС) № 852/2004) – визначення вимог до гігієни на всіх етапах харчового ланцюга, зокрема під час виробництва, переробки, пакування та транспортування. Обов'язковим є проведення медичних оглядів працівників харчових підприємств, наявність санітарних приміщень і засобів для обробки рук.

5. Генеральні принципи гігієни та технічні регламенти. Обов'язкові стандарти чистоти обладнання, інвентарю, зон виробництва. Технічні вимоги щодо вентиляції, освітлення, температурних режимів і якості води.

Аналізуючи представлені санітарно-гігієнічні вимоги до харчових підприємств в Україні та країнах ЄС можна зробити висновок, що в Україні система контролю за санітарно-гігієнічними вимогами розвинена, але ще потребує вдосконалення в частині моніторингу та прозорості. Нормативно-технічні документи країн ЄС мають більш централізовану і жорстку систему контролю через європейські органи (EFSA, DG SANTE), що забезпечує високий рівень дотримання стандартів [15–17].

В Україні система НАССР є обов'язковою для підприємств, що здійснюють виробництво харчових продуктів, але деякі малі підприємства можуть мати труднощі з її впровадженням, тоді як в країнах ЄС вимога до впровадження НАССР стосується всіх підприємств без винятку, а контроль за виконанням цих вимог здійснюється на всіх рівнях від місцевого до національного.

В Україні не завжди забезпечено належний рівень санітарно-гігієнічних вимог на підприємствах. В країнах ЄС контролюється кожен етап виробництва та гігієни працівників з суворими вимогами до санітарних умов.

В ЄС діють більш детальні та суворі технічні стандарти, особливо в частині вимог до температурних режимів, умов транспортування та зберігання харчових продуктів.

Важливо зазначити, що в Україні є відповідальність за порушення санітарно-гігієнічних вимог виробництва, але рівень контролю і покарання за порушення може бути менш жорстким, ніж в ЄС, де є чітко визначена система штрафів і санкцій.

В табл. 1 представлено порівняння основних технічних вимог до харчових підприємств.

Аналізуючи дані представлені в табл. 1 можна зробити висновок, що оскільки Україна має на меті інтеграцію в ЄС, слід поступово адаптувати законодавство та стандарти до європейських норм, що підвищить якість і конкурентоспроможність українських харчових підприємств на міжнародному ринку.

В табл. 2 представлено нормативно-технічні документи, за якими здійснюється контроль за якістю та безпекою харчових продуктів в Україні та країнах ЄС.

Аналізуючи дані представлені в табл. 2 можна зробити висновок, що санітарно-гігієнічні вимоги до харчових підприємств в Україні та Європейському Союзі мають деякі спільні аспекти, але також відповідають специфічним особливостям,

Таблиця 1

Основні технічні вимоги до харчових підприємств

Параметр	Україна	ЄС
Температурні режими	Регулюються СанПіН, окремі норми для кожного виду продукції	Регламент (ЄС) No 852/2004, детальні температурні вимоги для кожного етапу виробництва
Чистота обладнання	Встановлені вимоги для кожного виду обладнання	Вимоги щодо чистоти обладнання, що застосовується на всіх етапах виробництва
Вентиляція	Обов'язкова для виробничих приміщень	Суворі вимоги до вентиляції та якості повітря в кожному виробничому приміщенні
Освітлення	Вимоги до природного та штучного освітлення виробничих приміщень	Деталізовані вимоги до рівня освітленості для кожного виду роботи

Таблиця 2

Контроль якості та безпеки харчових продуктів

Параметр	Україна	ЄС
Контроль якості продукції	Оперативний контроль, державна санітарно-епідеміологічна служба	Контроль на рівні всього ланцюга постачання, національні органи та EFSA
План дій при порушеннях	Штрафи, попередження, закриття підприємства	Штрафи, санкції, можливість відкликання продуктів з ринку
Забезпечення безпеки	Визначення критичних точок і контроль за ризиками через систему НАССР	Постійний моніторинг та впровадження змін у разі виявлення небезпек

які відрізняються залежно від законодавства. Різниця та переваги полягає в тому, що в країнах ЄС існує більш жорстка структура контролю. В Україні потрібно досягти певного рівня відповідності міжнародним стандартам, хоча активно відбувається гармонізація нормативної бази. Бажано для харчових підприємств, які виробляють харчові продукти в Україні регулярно оновлювати знання відповідно до сучасних вимог; впроваджувати системи управління; інвестувати в навчання персоналу для успішного впровадження санітарно-гігієнічних вимог на підприємствах.

Висновки. На основі проведених досліджень санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств можна зробити висновок, що в Україні потрібно вдосконалювати систему контролю та моніторингу, зокрема на рівні місцевих органів, для забезпечення більш ефективного виконання санітарно-гігієнічних вимог. Підвищувати кваліфікації та оснащення підприємств, а саме створювати сприятливі умови для малих підприємств для повноцінного впровадження системи НАССР та забезпечення високих санітарно-гігієнічних стандартів.

Таким чином, основні відмінності між санітарно-гігієнічними вимогами в Україні та ЄС полягають у більш суворій регламентації та контролі в країнах ЄС, що забезпечує високий рівень безпеки харчових продуктів. Україна має потенціал для вдосконалення власної системи, орієнтуючись на досвід ЄС. Хоча в Україні та ЄС існують схожі вимоги щодо забезпечення безпеки харчових продуктів, Європейський Союз має більш жорстку, централізовану систему контролю, а також детальніші та стандартизовані технічні регламенти. Україні варто вдосконалити механізми

контролю, підвищити відповідальність та прозорість на всіх етапах виробництва і зберігання харчових продуктів для досягнення рівня європейських стандартів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Закон України «Про безпечність та якість харчових продуктів»: прийнятий 06.09.2005 р. № 2809-IV. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2809-15>
2. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» прийнятий 23.12.1997 р. № 771/97-ВР. Редакція від 04.04.2018. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>
3. Державні санітарні правила і нормативи для підприємств і суден, що виробляють продукцію з риби та інших видних живих ресурсів. Затверджено 06.05.2003. № 197.
4. Закон України «Про стандартизацію» прийнятий 15.01.2015 р. № 124VIII. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>
5. Горач О.О., Новікова Н.В. Товарознавство харчових продуктів / Товарознавство харчових продуктів: навч. посіб. для вузів / О.О. Горач, Н.В. Новікова, Херсон: ХДАЕУ. 2023. 345 с. <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9055>
6. Директива Ради ЄС 92/46 ЄС. Про встановлення медико-санітарних правил виробництва і розміщення на ринку сирого молока, молока, підданого тепловій обробці, і продуктів на молочній основі (16 червня 1992 р.) / Рада Європейських Співтовариств. 1992 р. 93 с. (Бібліотека офіційних видань).
7. Загальні принципи гігієни продуктів харчування (CAC/RCP 1–1969, Rev. 2 (1985) Codex Alimentarius, том 1)
8. ДСТУ ISO 9001:2008 «Система управління якістю: Вимоги», К.: Держивстандарт України 2008 р. 35 с.
9. ДСТУ ISO 9004:2001 «Система управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності» прийнятий 27.06.2001 р. № 317. С. 70.
10. ДСТУ ISO 9000:2015 «Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів» № 203 від 21.12.2015 р. с. 51.
11. ДСТУ ISO 22000:2007 «Системи управління безпечністю харчових продуктів» № 72 з 2007–08–01 від 2 квітня 2007 р. с. 39.
12. ДГПіН Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах, затверджені Міністерством охорони здоров'я України від 13.05.2013 р. № 368.
13. ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000–2001. Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті, затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001 № 137.
14. ДГН 6.6.1.1-130–2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи, затверджені Міністерством охорони здоров'я України від 03.05.2006 № 256.
15. Чурсіна Л.А., Богданова О.Ф., Горач О.О. Стандартизація та сертифікація послуг / *Навчальний посібник для вузів. Херсон: ХНТУ. 2017. 380 с.*
16. Горач О.О., Домбровська О.П., Чурсіна Л.А. Інноваційні напрями використання насіння льону олійного та екологічна безпека харчової продукції / *Колективна монографія «Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в ХХІ столітті»*. Т. 2. Херсон. 2021. С. 593-619.
17. Горач О.О., Новікова Н.В., Дзюндзя О.В., та ін. *Термінологічний словник професійної лексики для підготовки фахівців харчової промисловості для здобувачів спеціальності 181 «Харчові технології» денної і заочної форм навчання* / О.О. Горач, Н.В. Новікова, О.В. Дзюндзя, О.П. Сумська, Д.П. Крамаренко, Н.І. Резвих, І.О. Ряполова, А.Л. Єфимова Термінологічний словник професійної лексики для підготовки фахівців харчової промисловості для здобувачів спеціальності 181 «Харчові технології» денної і заочної форм навчання. ХДАЕУ. 2023. 141 с. <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9059>.

REFERENCES:

1. Закон Ukrainy «Pro bezpechnist ta yakist kharchovykh produktiv»: pryiniaty 06.09.2005 r. № 2809-IV. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2809-15>
2. Закон Ukrainy «Pro osnovni pryntsypy ta vymohy do bezpechnosti ta yakosti kharchovykh produktiv» pryiniaty 23.12.1997 r. № 771/97-VR. Redaktsiia vid 04.04.2018. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>
3. Derzhavni sanitarni pravyla i normatyvy dlia pidpriemstv i suden, shcho vyrobliaiut produktsiiu z ryby ta inshykh vydnykh zhyvykh resursiv. Zatverdzheno 06.05.2003. № 197.
4. Закон Ukrainy «Pro standartyzatsiiu» pryiniaty 15.01.2015 r. № 124VIII. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>
5. Horach O.O., Novikova N.V. (2023) Tovaroznavstvo kharchovykh produktiv / Tovaroznavstvo kharchovykh produktiv: navch. posib. dlia vuziv / O.O. Horach, N.V. Novikova, Kherson: KhDAEU. 345 s. <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9055>
6. Dyrektyva Rady YeS 92/46 YeS. Pro vstanovlennia medyko-sanitarnykh pravyl vyrobnytstva i rozmishchennia na rynku syroho moloka, moloka, piddanoho teplovii obrobtsi, i produktiv na molochnii osnovi (16 chervnia 1992 r.) / Rada Yevropeiskyykh Spivtovarystv. 1992 r. 93 s. (Biblioteka ofitsiinykh vydan).
7. Zahalni pryntsypy hihieny produktiv kharchuvannia (CAC/RCP 1–1969, Rev. 2 (1985) Codex Alimentarius, tom 1)
8. DSTU ISO 9001:2008 «Systema upravlinnia yakistiu: Vymohy», K.: Derzhystandart Ukrainy 2008 r. 35 s.
9. DSTU ISO 9004:2001 «Systema upravlinnia yakistiu. Nastanovy shchodo polipshennia diialnosti» pryiniaty 27.06.2001 p. № 317. S. 70.
10. DSTU ISO 9000:2015 «Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv» № 203 vid 21.12.2015 r. s. 51.
11. DSTU ISO 22000:2007 «Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv» № 72 z 2007–08–01 vid 2 kvitnia 2007 r. s. 39.
12. DHPiN Rehlament maksymalnykh rivniv okremykh zabrudniuuchykh rehovyn u kharchovykh produktakh, zatverdzheni Ministerstvom okhorony zdorovia Ukrainy vid 13.05.2013 r. № 368.
13. DSanPiN 8.8.1.2.3.4-000–2001. Dopustymi dozy, kontsentratsii, kilkosti ta rivni vmistu pestytsydiv u silskohospodarskii syrovyni, kharchovykh produktakh, povitri robochoi zony, atmosferному povitri, vodi vodoimyshch, grunti, zatverdzheni postanovoiu Holovnoho derzhavnoho sanitarnoho likaria Ukrainy vid 20.09.2001 № 137.
14. DHN 6.6.1.1-130–2006. Dopustymi rivni vmistu radionuklidiv ¹³⁷Cs ta ⁹⁰Sr u produktakh kharchuvannia ta pytnii vodi. Derzhavni hihienichni normatyvy, zatverdzheni Ministerstvom okhorony zdorovia Ukrainy vid 03.05.2006 № 256.
15. Chursina L.A., Bohdanova O.F., Horach O.O. (2017) Standartyzatsiia ta sertyfikatsiia posluh / Navchalnyi posibnyk dlia vuziv. Kherson: KhNTU. 380 s.
16. Horach O.O., Dombrovska O.P., Chursina L.A. (2021) Innovatsiini napriamy vykorystannia nasinnia lonu oliinoho ta ekolohichna bezpeka kharchovoi produktsii / Kolektyvna monohrafiia «Formuvannia novoi paradyhmy rozvytku ahropromyslovoho sektoru v XKHi stolitti». T. 2. Kherson. S. 593–619.
17. Horach O.O., Novikova N.V., Dziundzia O.V., ta in.. (2023) Terminolohichni slovnyk profesiinoi lekstyky dlia pidhotovky fakhivtsiv kharchovoi promyslovosti dlia zdobuvachiv spetsialnosti 181 «Kharchovi tekhnolohii» dennoi i zaochnoi form navchannia / O.O. Horach, N.V. Novikova, O.V. Dziundzia, O.P. Sumska, D.P. Kramarenko, N.I. Riezvykh, I.O. Riapolova, A.L. Yefymova Terminolohichni slovnyk profesiinoi lekstyky dlia pidhotovky fakhivtsiv kharchovoi promyslovosti dlia zdobuvachiv spetsialnosti 181 «Kharchovi tekhnolohii» dennoi i zaochnoi form navchannia. KhDAEU. 141 s. <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9059>

УДК 635.6:664

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.19>

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СОРТІВ ГАРБУЗА ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Дзюндзя О. В. – кандидат технічних наук,

доцент кафедри харчових технологій

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0002-1996-7065

Велнечук О. О. – магістр І курсу біолого-технологічного факультету

Херсонського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0009-0009-2153-7003

Стаття присвячена дослідженню товарознавчо-технологічних характеристик харчових гарбузів різних сортів та їх вплив на кулінарне призначення. Гарбуз – цінна сезонна культура, яка здатна забезпечити споживача життєво-необхідними компонентами та сприяє процесам травлення. Використання гарбуза як харчової добавки до готової продукції обумовлене позитивним впливом на організм людини. В його хімічному складі містяться висока кількість біологічно-активних речовин, які необхідні для процесу життєдіяльності організму. Проте не зважаючи на його багатий хімічний склад, він не являється поширеним інгредієнтом у кондитерському виробництві. Відповідно, важливо дослідити види харчового гарбуза, проаналізувати їхній хімічний склад та вивчити найоптимальніші сорти для використання у харчовій промисловості.

Предметами дослідження були три основних групи харчового гарбуза, це мускатний, великоплідний і товстокорий (звичайний). Серед них найкращими споживчими властивостями відзначалися сорти мускатної групи. Мускатні сорти гарбуза володіють гарними органолептичними показниками та добре зберігають свій аромат, колір і структуру при термічній обробці, а це означає що він чудово підходить для харчової промисловості. Порівнявши різні сорти виявлено, що за хімічним складом та органолептичними характеристиками найкращим виявився сорт Арабатський. Під час дослідження визначено найбільший вміст β -каротину порівняно з іншими гарбузами цієї групи. Високий вміст каротиноїдів надає плодам гарного та яскравого кольору і впливає на зміцнення імунітету людини. Тому, даний сорт пропонується використовувати як для промислової переробки (харчові порошки, цукати, тощо) так і для використання в якості основного та додаткового інгредієнту в кулінарних стравах та виробках. Завдяки високому вмісту есенціальних речовин, в тому числі і пектинових речовин та низькій калорійності гарбуз можна рекомендувати для моделювання страв дієтичного та лікувально-профілактичного призначення.

Ключові слова: гарбуз, сорти, хімічний склад, кулінарне призначення, товарознавча характеристика.

Dzyundzha O. V., Velnechuk O. O. Research of different pumpkin varieties for use in the food industry

The article is devoted to the study of the commodity-technological characteristics of edible pumpkins of different varieties and their influence on culinary purposes. Pumpkin is a valuable seasonal crop that is able to provide the consumer with vital components and promotes digestive processes. The use of pumpkin as a food additive to finished products is due to its positive effect on the human body. Its chemical composition contains a high number of biologically active substances that are necessary for the process of the body's vital activity. However, despite its rich chemical composition, it is not a common ingredient in confectionery production. Accordingly, it is important to study the types of edible pumpkin, analyze their chemical composition and study the most optimal varieties for use in the food industry.

The subjects of the study were three main groups of edible pumpkins, these are nutmeg, large-fruited and thick-skinned (ordinary). Among them, the varieties of the nutmeg group were noted for the best consumer properties. Muscat pumpkin varieties have good organoleptic characteristics and retain their aroma, color and structure well during heat treatment, which means that it is excellent for the food industry. Comparing different varieties, it was found that the Arabatsky variety was the best in terms of chemical composition and organoleptic characteristics. During the study, the highest content of β -carotene was determined compared to other pumpkins of this group. The high content

of carotenoids gives the fruits a beautiful and bright color and affects the strengthening of human immunity. Therefore, this variety is proposed to be used both for industrial processing (food powders, candied fruits, etc.) and for use as the main and additional ingredient in culinary dishes and products. Due to the high content of essential substances, including pectin substances and low calorie content, pumpkin can be recommended for modeling dishes for dietary and therapeutic purposes.

Key words: *pumpkin, varieties, chemical composition, culinary purpose, commodity characteristics.*

Вступ. Сезонна плодово-овочева сировина відіграє важливу роль у забезпеченні споживача життєво необхідними компонентами і сприяє процесам травлення. Виняткове місце в раціоні українця займають баштанні культури, зокрема гарбуз. В його хімічному складі містяться висока кількість біологічно-активних речовин, які необхідні для процесу життєдіяльності організму. Проте не зважаючи на його багатий хімічний склад, він не являється поширеним інгредієнтом у кондитерському виробництві. Відповідно виникає потреба дослідження можливості використання гарбуза як основного компоненту у кондитерській промисловості [1].

Постановка проблеми. На сьогоднішній день спостерігається збільшення у раціоні харчування людини простих вуглеводів та жирів тваринного походження, що спричиняє різке збільшення різних хронічних захворювань, водночас з'являється дефіцитним вживання білків, макро- та мікроелементів, вітамінів, харчових волокон і інших біологічно активних речовин. Перспективним вирішенням даної проблеми є використання нетрадиційної сезонної сировини, у розробці інноваційних страв, яка є адаптованою до раціону людини [2]. Одним із головних харчових продуктів, як джерело важливих дефіцитних нутрієнтів та функціональних властивостей і якостей є гарбуз.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідити види харчового гарбуза, проаналізувати їхній хімічний склад та вивчити найоптимальніші сорти для використання у харчовій промисловості.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Вивченню перспективності використання різних сортів гарбузів та їхнього хімічного складу присвячено праці як вітчизняних так і закордонних науковців [1–11]. Зокрема Хареба В. В., Кокойко В. В. [4] висвітлили у своїй праці біологічні особливості вирощування, харчове значення та перспективні шляхи переробки гарбузів великоплідних та мускатних сортів. Зазначено, що гарбуз це не лише корм для годування тварин, а й перспективна сировина для харчової галузі.

Науковці Дубліна А., Летула Т., Томашевська Р. [5] провели комплексне оцінювання якості гарбузів вирощених на Харківщині. Порівняльною характеристикою різних господарсько-ботанічних сортів виявлено, що сорти Арабатський та Славути мають найкращі показники якості. Встановлено, що завдяки високому вмісту нутрієнтів та гарним споживчим характеристикам їх можна рекомендувати при створенні раціонів дитячого харчування. Однак, не вивченим питанням залишилося кулінарне призначення даних сортів гарбуза, а саме для приготування яких страв можна їх рекомендувати.

Палінчак О. В., Заверталюк В. Ф. [6] досліджували можливості-розширення використання культури гарбуза в харчуванні. В їхній праці було проаналізовано селекційні напрямки вирощування гарбузів для споживання людиною. Також було досліджено хімічний склад плодів, їхню загальну характеристику. Було виявлено, що у м'якоті гарбуза міститься велика кількість вітаміну D, який прискорює ріст у дітей та підсилює життєздатність. Однак, не вивченими залишилися важливі питання, а саме технологічні властивості не були розкриті.

Тож, аналізуючи літературні джерела було виявлено, що гарбуз є цікавою і корисною сільсько-господарською культурою для харчової промисловості. Однак, більшість робіт направлено саме на вивчення і порівняння хімічного складу гарбузів, а питання технологічних властивостей і взаємозв'язок хімічного складу з кулінарним призначенням дослідженими не були. Відповідно, порівняння різних сортів гарбуза з визначенням їх технологічного призначення є актуальними.

Виклад основного матеріалу дослідження. Споживання сезонних продуктів стає трендом у всьому світі. Аналіз літературних джерел вказав на збільшення попиту на використання гарбуза як супер-фуду у багатьох закладах ресторанного господарства [7]. Однак, за товарознавчими характеристиками, гарбуз має певну класифікацію та має різні технологічні властивості. Отже, виникає необхідність визначення найбільш перспективних сортів відповідно до кулінарного призначення, зокрема і для молочної галузі.

У харчовій промисловості гарбуз посідає велике значення, так як він являється джерелом антиоксидантних і корисних біологічних властивостей. Науковці [8] рекомендують вживати гарбуз в якості біологічно активної добавки до страв. Виявлено, що він має антиоксидантні властивості за рахунок присутності у ньому харчових фізіологічно функціональних інгредієнтів, у тому числі харчових волокон та вітамінів (А, С, Е, D). Важливою є роль харчових волокон гарбузів у боротьбі проти захворювань шлунково-кишкового тракту. Відповідно, окрім багатого хімічного складу дана культура має і лікувальні властивості, тому може використовуватися як в лікувально-профілактичному так і дієтичному харчуванні. Страви з гарбуза відмінно підійдуть людям з проблемою серцево-судинної системи, шлунково-кишкового тракту та з нервовими розладами.

Це чудовий харчовий продукт, який може бути хорошим доповненням, як до основних страв, так і до десертів. Якщо розглядати фізіологічні потреби організму, то кількість свіжих овочів повинна становити близько 134 кг на рік, а 23 кг з них припадають на гарбуз [9]. Тому, розглянемо класифікацію з метою визначення кулінарного призначення.

Отже, гарбуз розділяють на три групи [9, 10]:

1. столові – використовуються для приготування страв;
2. кормові – для годування тварин;
3. декоративні.

В свою чергу столові сорти поділяться на різновиди: мускатний, великоплідний, звичайний або товстокорий.

До поширених мускатних різновидів гарбуза відносять: Арабатський, Гілея, Новинка та Руж Віф Д'етамп. Ці сорти являються найсолодшими з поміж інших, вони чудово зберігаються (до 6 міс.). Даний сорт вирощують саме у південних широтах, так як цьому виду необхідно досить велика кількість теплоти та помірно вологий клімат. З поміж інших видів він найчастіше використовуються у кулінарії, а саме для приготування соків та дитячих п'юре [10, 11]. Детальний розгляд хімічного складу мускатних видів гарбуза наведено нижче у таблиці 1.

Відомо, що каротиноїди відіграють важливу роль для підтримання імунітету та відновлення організму, тому зважаючи на дані табл. 1, найдоцільніше використовувати гарбуз сорту «Арабатський», яких містить високий вміст β -каротину та вітаміну С. За товарознавчими характеристиками даний гарбуз має гарні технологічні властивості, добре розварюється, пюре характеризується гарною структурою. Отже, враховуючі вищенаведені дані сорт Арабатський рекомендуємо використовувати для приготування пюреподібних напівфабрикатів, пюре, крем-супів, соків, харчових барвників тощо.

Інша група гарбузів, які входять до складу харчових – великоплідні. Найбільш культивованими є сорти: Славута, Херсонський та Стофунтовий. Ці сорти є також досить солодкими та мають не велику кількість соку. Даний вид є найменше вибагливим за попередній, тому його вирощують у всіх кліматичних зонах України. Використовується переважно для приготування супів та каш. Хімічний склад великоплідних гарбузів наведено у таблиці 2.

У таблиці 2 показано, що найбільший вміст каротину знаходиться у сорті Славута, на відмінну від сорту Херсонський, який має найнижчий показник каротину. Низький вміст каротиноїдів впливає на колір м'якоті, яка має менш виражене жовте забарвлення. За товарознавчими характеристиками дані сорти мають більш щільну структуру, однак підчас термічної обробки волокна втрачають свою щільність. Відповідно, враховуючи різні способи термічної обробки дані сорти можна використовувати як для виробництва кулінарної продукції (каші, салати, перші страви, тощо) так і для промислової переробки з метою виробництва різноманітної продукції в тому числі і харчового борошна та порошоків. Відповідно, порівнявши досліджувані зразки, найкращим за всіма характеристиками виявився сорт Славута.

До товстокорих гарбузів відносять Мозоліївський, Ждана, Лель та Український багатоплідний. Вони характеризуються червоно-помаранчевим кольором,

Таблиця 1

Хімічний склад мускатних гарбузів (Рік вирощування 2024)

Сорт	Вміст, %							
	Сухих речовин	Цукрів			Крохмалю	Клітковини	Вітамінів, мг/100	
		загального	сахарози	редуючого			С	β-каротину
Арабатський	12,0	5,3	2,76	2,54	1,79	0,31	8,2	18,5
Гілея	9,4	4,10	2,19	3,25	1,01	0,27	6,6	6,7
Руж Віф Д'етамп	7,78	4,3	2,76	2,44	2,01	0,42	5,6	12,4
Новинка	9,6	6,7	3,57	2,86	1,67	0,29	6,4	11,4

Таблиця 2

Хімічний склад великоплідних гарбузів (Рік вирощування 2024)

Сорт	Вміст, %							
	Сухих речовин	Цукрів			Крохмалю	Клітковини	Вітамінів, мг/100 г	
		загального	сахарози	Редуючих			С	β-каротин
Славута	7,26	5,6	4,01	2,47	1,05	1,04	2,3	14,1
Херсонський	11,31	5,2	2,54	3,16	1,36	0,85	12,4	4,3
Стофунтовий	8,4	4,9	2,6	2,5	1,56	0,98	6,6	8,7

великим насінням та товстою м'якоттю. Більшість з цих сортів є посухостійкими, що чудово підходять до степової зони України. Їх використовують для приготування соків, п'юре та овочевих чипсів. Хімічний склад товстокорих гарбузів наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Хімічний склад товстокорих гарбузів (Рік вирощування 2024)

Сорт	Вміст, %							Вітамінів, мг/100г	
	Сухих речовин	Цукрів			Крохмалю	Клітковини	С	β-каротину	
		загального	сахарози	редукуючих					
Мозоліївський	7,04	3,33	1,62	1,84	1,32	1,03	2,62	8,34	
Ждана	6,58	5,31	2,91	2,5	1,23	0,92	1,9	9,2	
Лель	9,1	4,6	2,06	2,02	1,2	1,12	3,3	3,3	
Український багатоплідний	8,64	4,2	2,65	2,3	1,46	1,9	3,2	10,1	

З даної таблиці 3 видно, що найбільший показник каротину є у сорту Український багатоплідний. Даний гарбуз має великі плоди, які дуже солодкі та мають яскраво-помаранчевий колір. За технологічними характеристиками дані сорти наближені до великоплідних, відповідно і кулінарне призначення у них збігається.

Таким чином, всі плоди різних сортів мають різні якісні характеристики. Формування якості плоду безпосередньо залежить від сорту та умов вирощування. За даними різних досліджень було виявлено, що навіть при несприятливих умовах, формується якісний врожай у мускатних сортів гарбуза. Їхній хімічний склад залишається майже незмінним, відповідно і кулінарне призначення теж.

Проаналізувавши хімічний склад різних видів гарбуза було встановлено, що найбільш оптимальним і універсальним сортом для використання у молочній галузі являється мускатний гарбуз – Арабатський. У своє складі даний вид містить найбільшу кількість β-каротину, яка становить 19,7 мг/100г відповідно, а також містить вітаміни групи В, С, А, Е, D, К, РР, і низку макроелементів, а саме заліза, магнію, фосфору, цинку та клітковини. Завдяки високому вмісту каротиноїдів пюре отримане з гарбуза має яскраво виражений помаранчевий колір. Відповідно у молочних виробках підвищується нутрієнтний склад та продукція отримує насичене забарвлення.

Провівши ряд досліджень виявлено, що гарбуз сорту Арабатський після термічної обробки добре тримає форму, має приємний запах та не втрачає свого кольору. Тому, даний сорт гарбуза завдяки гарним органолептичним та технологічним властивостям відмінно підійде, як додаткове джерело есенційних речовин, при виробництві хлібобулочних, кондитерських виробів (цукати, цукерна на натуральній основі з додаванням горіхів) та для виробництва молочної продукції (йогуртів, морозива).

Висновки і пропозиції. Проаналізувавши найбільш культивовані сорти гарбузів в Україні, визначено, що найкращим для використання харчовою промисловістю

є мускатні сорти, зокрема, Арабатський. Даний вид характеризується високим вмістом β -каротину, має ніжну структуру, легко піддається технологічній обробці. Враховуючи товарознавчі властивості і універсальність у використанні даний сорт можна використовувати для виробництва різноманітних харчових продуктів, зокрема і кондитерських виробів. Перспективами подальших досліджень є більш детальне дослідження хімічного складу та моделювання продукції спеціального призначення на основі гарбуза.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бачинська Я. Використання нетрадиційної сировини при виробництві борошнених кондитерських виробів як прогресивний напрямок створення продуктів підвищеної біологічної цінності. *Traektoriâ Nauki*, 2017, Vol. 3, № 2, pp. 7. 1-7.10
2. Іваніщева О.А. Дослідження шляхів оптимізації нутрієнтного складу страв з гарбуза. *Молодий вчений* 2019, Вип. 4 (68), с. 192-195.
3. Hussain, A., Kausar, T., Sehar, S., Sarwar, A., Ashraf, A. H., Jamil, M. A., Majeed, M. A. A Comprehensive review of functional ingredients, especially bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits. *Food Chemistry Advances*, 2022. Vol. 1, 100067.
4. Хареба В. В., Кокойко В. В., Гарбуз: біологія, технологія вирощування та переробки: монографія. Київ : Аграрна наука, 2022. 208 с.
5. Дубініна А., Летута Т., Томашевська Р. Порівняльна оцінка якості господарсько – ботанічних сортів гарбуза. *Товари і ринки*, 2011, Вип. 1, с. 132-139.
6. Палінчак О.В., Заверталюк В.Ф. Розширення можливостей використання культури гарбуза. Матеріали IV Всеукраїнської наук.-практ. конф. «Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі», 29 листопада 2022. м. Дніпро. с. 11.
7. Дзюндзя О.В., Погрібняк, О. Перспективи використання гарбуза у стравах для закладів ресторанного господарства. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, 2023, № 13(1).
8. Гніцевич В., Юдіна Т., Гончар Ю. Технологія напівфабрикату на основі низьколактозної молочної сироватки та м'якоті гарбуза. *Товари і ринки*, 2018. Вип. 4, с. 105-114.
9. Троценко В.І., Жатова Г.О., Коваленко І.М., Писаренко П.В., Скляр Ю.Л., Бондарєва Л.М. Ефективність використання морфометричного аналізу для ідентифікації сортів гарбуза. *Вісник Сумського національного аграрного університету Серія «Агрономія і біологія»*, 2023, Вип. 1 (51), с. 120-128.
10. Колтунов В., Булах М. Різноманітність плодів гарбуза. *Товари і ринки*: 2011, Вип. 2, с. 135.
11. Гліцевич В.А., Кущенко В. Технологія та якість напівфабрикату на основі м'якоті гарбуза для оздоровчого харчування. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 2021, Том 43, № 2, с. 5-11.

REFERENCES:

1. Bachynska Ya. (2017) Vykorystannya netradytsiynoyi syrovyny pry vyrobnytstvi boroshnyanykh kondyters'kykh vyrobiv yak prohresyvnyy napryamok stvorenniya produktiv pidvyshchenoyi biolohichnoyi tsinnosti [The use of non-traditional raw materials in the production of flour confectionery as a progressive direction of creating products of increased biological value.] *Trajectory of science*, 3, 2, 7.1-7.10 [in Ukraine].
2. Ivanishcheva O.A. (2019) Doslidzhennya shlyakhiv optyimizatsiyi nutryentnoho skladu strav z harbuza [Research on ways to optimize the nutritional composition of pumpkin dishes] *Molodyy vchenyy*, 4 (68), 192-195 [in Ukraine].
3. Hussain, A., Kausar, T., Sehar, S., Sarwar, A., Ashraf, A. H., Jamil, M. A., Majeed, M. A. (2022). A Comprehensive review of functional ingredients, especially

bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits. *Food Chemistry Advances*, 1, 100067. [in Pakistan].

4. Khareba V.V., Kokoiko V.V. (2022) Harbuz: biolohiya, tekhnolohiya vyroshchuvannya ta pererobky: monohrafiya. [Pumpkin: biology, cultivation and processing technology: monograph.]. Kyiv Agrarian Sciences. 208 [in Ukraine].

5. Dubinina A., Letuta T., Tomashevska R. (2011) Porivnyal'na otsinka yakosti hospodars'ko – botanichnykh sortiv harbuza. [Comparative evaluation of the quality of economic and botanical varieties of pumpkin.]. *Tovary i rynky*. (1), 132-139 [in Ukraine].

6. Palinchak O.V., Zavertaliuk V.F. (2022) Rozshyrennya mozhyvostey vykorystannya kul'tury harbuza. [Expanding the possibilities of using pumpkin culture]. *Materialy IV Vseukrayins'koyi nauk.-prakt. konf. «Dosyahnennya ta kontseptual'ni napryamy rozvytku sil's'kohospodars'koyi nauky v suchasnomu sviti»*, 29 lystopada 2022. m. Dnipro, 11 [in Ukraine].

7. Dzyundzha, O., Pohribnyak, O. (2023) Perspektyvy vykorystannya harbuza u stravakh dlya zakladiv restorannoho hospodarstva. [Prospects for using pumpkin in dishes for restaurants] *Naukovyy visnyk Tavriys'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu*, 13 (1) [in Ukraine].

8. Hnitsevich V., Yudina T., Honchar Yu. (2018) Tekhnolohiya napivfabrykatu na osnovi nyz'kolaktoznoyi molochnoyi syrovatky ta m'yakoti harbuza. [Semi-finished product technology based on low-lactose whey and pumpkin pulp] *Tovary i rynky* (4), 105-114 [in Ukraine].

9. Trotsenko V.I., Zhatova G.O., Kovalenko I.M., Pisarenko P.V., Sklyar Yu.L., Bondareva L.M. (2023) Efektyvnist' vykorystannya morfometrychnoho analizu dlya identyfikatsiyi sortiv harbuza. . [Effectiveness of using morphometric analysis to identify pumpkin varieties]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarynoho universytetu Seriya «Ahronomiya i biolohiya»* 1 (51), 120-128 [in Ukraine].

10. Koltunov V., Bulak M. (2011) Riznoyakisnist' plodiv harbuza. [Variety of pumpkin fruits.]. *Tovary i rynky* 2, 135 [in Ukraine].

11. Glitsevich V.A., Kushchenko V. (2021) Tekhnolohiya ta yakist' napivfabrykatu na osnovi m'yakoti harbuza dlya ozdorovchoho kharchuvannya. [Technology and quality of a semi-finished product based on pumpkin pulp for health food.]. *Obladnannya ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv* 43 (2).5-11 [in Ukraine].

УДК 663.393:543.92:001.8

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.20>

МЕТОДОЛОГІЯ СЕНСОРНОГО АНАЛІЗУ В УДОСКОНАЛЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕДОВИХ ВИН

Каменева Н. В. – доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри технології вина та сенсорного аналізу
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5768-439X
Scopus-Author ID: 56418317600
Researcher ID: O-4309-2016

Манолі Т. А. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології вина та сенсорного аналізу
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0001-9121-9232
Scopus-Author ID: 57190445142
Researcher ID: JCE-0684-2023

Баришева О. О. – доктор філософії, асистент кафедри
технології вина та сенсорного аналізу
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5479-7479
Scopus-Author ID: 57190443151

Скляр В. Ю. – доктор філософії, старший викладач кафедри
технології вина та сенсорного аналізу
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0002-9028-5817

Нікітіна Я. С. – здобувач ступеню вищої освіти магістр
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0009-0008-6818-2863

Сьогодення в Україні характеризується відродженням традицій медоваріння та розвитком виробництва автентичного медового вина. Великих промислових масштабів поки немає та основними виробниками медового вина в Україні є невеликі крафтові виробництва, окремі ресторани, орієнтовані на локальні продукти та національну українську кухню. Є декілька сертифікованих українських виробників медовухи (ТЗОВ «Українські медовари», ТОВ «Медовий Спас»). Медові вина на основі натурального меду мають давню історію та виробляються багатьма країнами світу. Показано, що відродження популярності медовухи відбувається завдяки руху крафтового пива та інтересу до історичних напоїв. В умовах гострої конкурентної боротьби на ринку харчових продуктів важливо виробляти товари, які повністю задовольняють споживчі очікування та будуть володіти високими смаковими якостями. В сучасному світі сенсорний аналіз визнано необхідним інструментом бізнесу та харчових виробництв, оскільки за його допомогою можна оперативно надати первинну оцінку якості не тільки кінцевої продукції, але й дозволяє своєчасно попередити утворенню дефектів харчових продуктів та усуненню порушень технологічних режимів і запобігти випуску недоброякісної готової продукції. У статті наведено основні історичні етапи розвитку та причини занепаду медоваріння в Україні, до яких відносять складність, ресурсоемність, тривалість технології медових вин. Мета дослідження полягає у створенні сенсорних профілів медових вин, відповідно до

вимог міжнародних стандартів з сенсорного аналізу. Для досліджень застосовували метод бальної оцінки за міжнародною 100-бальною шкалою та дескрипторно-профільний метод. Дослідженню піддавалися медові вина «Сікера». Результати бальної оцінки свідчать, що вина високої якості та посередні, звичайні, можливо, з деякими недоліками. Профільно-дескриптивний метод аналізу дозволив виявити, за якими атрибутами відбулося відхилення якісних показників медового вина, що свідчить про існування певних проблем у дотриманні технологічного регламенту виробництва медових вин.

В подальших дослідженнях слід дослідити споживчий попит та створити ідеальний профіль медового вина.

Ключові слова: медові вина, технологія вина, методологія, сенсорний аналіз, сенсорний профіль, дескриптор.

Kameneva N. V., Manoli T. A., Barysheva O. O., Skliar V. Yu., Nikitina Ya. S. Methodology of sensory analysis in improving the technology of honey wines

Today, Ukraine is characterised by the revival of honey-making traditions and the development of authentic honey wine production. There are no large-scale industrial producers yet, and the main producers of honey wine in Ukraine are small craft producers and individual restaurants focused on local products and national Ukrainian cuisine. There are several certified Ukrainian producers of mead (Ukrainian Medovary LLC and Medovy Spas LLC). Honey wines based on natural honey have a long history and are produced in many countries around the world. It is shown that the revival of the popularity of mead is due to the craft beer movement and interest in historical drinks. In a highly competitive food market, it is important to produce products that fully meet consumer expectations and have high taste. In today's world, sensory analysis is recognised as an essential tool for business and food production, as it can be used to promptly provide an initial assessment of the quality of not only the final product, but also to prevent the formation of food defects and eliminate violations of technological regimes and prevent the release of substandard finished products. The article presents the main historical stages of development and reasons for the decline of honey wine technology. The purpose of the study is to create sensory profiles of honey wines in accordance with the requirements of international standards for sensory analysis. The method of scoring on an international 100-point scale and the descriptor-profile method were used for the study. Sikera honey wines were subjected to the study. The results of the scoring method indicate that the wines are of high quality and mediocre, ordinary, possibly with some shortcomings. The profile-descriptive method of analysis allowed us to identify the attributes that caused the deviation of the quality indicators of honey wine, which indicates the existence of certain problems in compliance with the technological regulations for the production of honey wines.

Further research should investigate consumer demand and create an ideal profile of honey wine.

Key words: honey wines, wine technology, methodology, sensory analysis, sensory profile, descriptor.

Напої на основі натурального меду є найдавнішими на землі. Їх виготовляли ще за часів шумерської цивілізації [1–5]. В Україні відроджуються давні традиції медоваріння та розвивається виробництво автентичного медового напою. На сьогоднішній день медові вина в Україні виготовляють тільки деякі пасічники, поодинокі цінителі цього стародавнього медового напою та окремі ресторани, які орієнтуються на національну українську кухню. Виробництво медовухи в промислових масштабах налагоджено на ТзОВ «Українські медовари» та ТОВ «Медовий Спас», які в Україні є сертифікованими та ліцензійними виробниками напоїв [6]. Щодо всього світу, то медове вино виробляють у тридцяти країнах, а саме: Південна Корея, Коста-Ріка, США, Канада, Японія, Австралія, Нова Зеландія, Кенія, Німеччина, Франція, Фінляндія, Україна, Польща, Хорватія, Словенія та інші [7].

Медове вино – це такий же оригінальний національний напій, як і віскі в Шотландії, саке в Японії або текіла в Мексиці, що володіє своєю яскравою особливістю – медом, завдяки якому медовуха набуває неперевершених органолептичних властивостей [8].

Сьогодні, за умов зростаючої конкуренції, недостатньо тільки випускати продукти високої якості. Важливо, щоб продукт відповідав очікуванням споживачів,

оскільки смакові якості продукту посідають друге місце після його ціни під час приймання рішення про його купівлю.

Методологія сенсорного аналізу у визначенні якості харчових продуктів має важливе значення як для споживачів, так і для виробників харчових продуктів, оскільки за його допомогою можна оперативно надати первинну оцінку якості не тільки кінцевої продукції, але й дозволяє своєчасно попередити утворенню дефектів харчових продуктів та усуненню порушень технологічних режимів і запобігти випуску недоброякісної готової продукції [9]. Тому проведення сенсорних досліджень із створення сенсорного профілю сучасних медових вин українського виробництва є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алкогольні напої на основі меду відомі здавна і зустрічалися у більшості найдавніших народів Європи – у давніх слов'ян, скандинавів, германців, греків, литовців, піктів, валлійців, вірмен та інших. В Україні медоваріння було поширено в козацькі часи – в епоху гетьманату. Значного розвитку воно набуло в часи польсько-литовського панування. У південних країнах переважало виноградне виноробство, а в країнах помірного поясу – в Україні, Польщі, Литві, Німеччині – було поширене медоваріння.

У XVII столітті медоваріння в Україні почало занепадати. У певній мірі цьому сприяло винайдення горілки і занепад бджільництва. Пік занепаду медоваріння досяг у XVIII столітті. Підйом бджільництва відмічено у часи НЕПу (1924–1929 роки. У ті часи відбулося перевиробництво меду, тому пасічники почали надлишок меду переробляти на медові напої. Але соціальні потрясіння поклали край тим спробам. За радянських часів медоваріння не отримало розвитку [6].

Ще однією з причин занепаду є складна, ресурсоемна, тривала технологія медових вин.

У XVII–XVIII століттях з'явилися «меди», «медки» і «медовухи», дійшли донині, технології та рецептури яких мають мало спільного із класичними медовими напоями, проте нині приготування медових напоїв відновлено [6].

Сьогодення медових напоїв в Україні, на жаль, не характеризується значними темпами росту. До причин належать: відсутність окремої категорії «медові напої» в Податковому кодексі України та Законі України «Про Митний тариф України»; заборона для малих виробників медових напоїв виготовлення напоїв з куплених плодів, ягід, винограду, меду; великі фінансові витрати на адміністрування марок акцизного податку; відсутність державних стандартів виробництва медових напоїв та код згідно з класифікацією видів економічної діяльності.

Вирішення проблеми медовари України бачать через скасування акцизної марки для медових напоїв, виготовлених без додавання спирту, фактична міцність яких не вища за 15% об'ємних одиниць етилового спирту; розробку та затвердження Методики визначення ставки акцизного податку для медових напоїв в залежності від міцності напою або відокремлення категорії «медові напої» в Податковому кодексі України; дозволі малим медоварам виробництва медових напоїв із власного суслу, шляхом внесення змін до Закону про виробництво спирту; розробку та затвердження державних стандартів виробництва медових напоїв [10].

Сьогодні популярність медовухи відроджується завдяки руху крафтового пива та інтересу до історичних напоїв і тепер цей асортимент починає з'являтися у звичайних торговельних мережах.

Відповідно до КД У 00011050-15.94.10-2:2008 «Правила виробництва та зберігання плодово-ягідних вин і сидру» [11] медові вина поділяють на столові, солодкі, десертні і лікерні.

Медовий напій – це продукт, виготовлений в результаті повного або неповного спиртового бродіння медового суслу, з насиченням або без насичення дво-окисом вуглецю, з додаванням або без додавання ректифікованого етилового спирту з харчової сировини, продуктів з вмістом цукру, окремих частин рослин та/або їх настоїв та/або їх дистилятів, і має переважаючий аромат та смак меду. При виробництві медових напоїв допускається використовувати до 30% фрукто-вих (плодових) сусел, зброджених, зброджено спиртованих фруктових (плодових) виноматеріалів, спиртованих фруктових (плодових) соків або різні поєднання цих продуктів. Виноматеріали для медових вин виробляють з додаванням цукровміс-них матеріалів, в яких не менш 50 % складає мед натуральний. Медові вина сто-лові виробляють збродженням підсолоджене медом плодово-ягідного соку.

За органолептичними показниками медові вина повинні за смаком та арома-том відповідати певному типу, за кольором бути від світло-солом'яного до темно-червоного або темно янтарного, що залежить від сорту меду, плодів і ягід, з яких виготовляють вино; вина повинні бути прозорими, з блиском, без осаду і сторон-ніх включень.

Формулювання мети статті. Враховуючи багату історію медоваріння в Україні, наявність сировинних джерел, розвиток виробництва медових вин в нашій країні є перспективним напрямком. Мета дослідження полягає у створенні сенсорних профілів медових вин, відповідно до вимог міжнародних стандартів з сенсорного аналізу.

Предметом дослідження є лінійка медових вин «Сікера» (ТОВ Медовий Спас): медове вино на основі липового меду Сікера «Медова Золота» 2021 року; медово-ягідне вино на основі липового меду та агрусу Сікера «Медова Особлива» 2020 року; медово-плодово-ягідне вино на основі липового меду, соків червоної та чорної смородини, ожини, яблука Сікера «Медова Рожева» 2020 року; медово-плодово-ягідне вино на основі меду, соку яблук, чорноплідної горобини, вишні Сікера «Медова Червона» 2021 року.

Медоварня «Медовий Спас» (м. Бровари Київської області, Україна) – це одна з перших технологічних медоварень промислових масштабів в Україні. Натуральні напої з меду – безцінний дар, який залишився у спадок від наших предків.

Для досліджень застосовували метод бальної оцінки ISO 6658:2017 «Sensory analysis – Methodology – General guidance та профільний метод флейфору ISO 6564:1985 Sensory analysis – Methodology – Flavour profile methods.

Результати сенсорного дослідження, оформлені у вигляді профілограм, пред-ставляють наочну інформацію, яка необхідна для розробки нових продуктів та удосконалення існуючих технологій.

Виклад основного матеріалу. Оцінювання медових вин здійснювали за 100-бальною шкалою МОВВ;

95–100 – класичні, виняткові вина;

90–94 – видатне вино з особливим чудовим характером та стилем;

85–89 – дуже хороші вина високої якості;

80–84 – хороші вина високої якості;

75–79 – посередні, звичайні вина, можливо, з деякими недоліками;

50–74 – не рекомендовані вина.

Результати показали, що медове вино на основі липового меду Сікера «Медова Золота» 2021 року за середньою оцінкою експертів отримало 81 бал. Медово-ягідне вино на основі липового меду та агрусу Сікера «Медова Особлива» 2020 року отримало 77 балів. Медово-плодово-ягідне вино на основі липового

меду, соків червоної та чорної смородини, ожини, яблука Сікера «Медова Рожева» 2020 року отримало 78 балів. Медово-плодово-ягідне вино на основі меду, соку яблука, чорноплідної горобини, вишні Сікера «Медова Червона» 2021 року отримало 82 бали. Це характеризує їх як вина високої якості та посередні, звичайні, можливо, з деякими недоліками.

Дескриптивний метод аналізу дозволив виявити, за якими атрибутами відбулося відхилення якісних показників медового вина.

Результати сенсорної оцінки медових вин за профільним методом флейвор наведені на рис. 1.

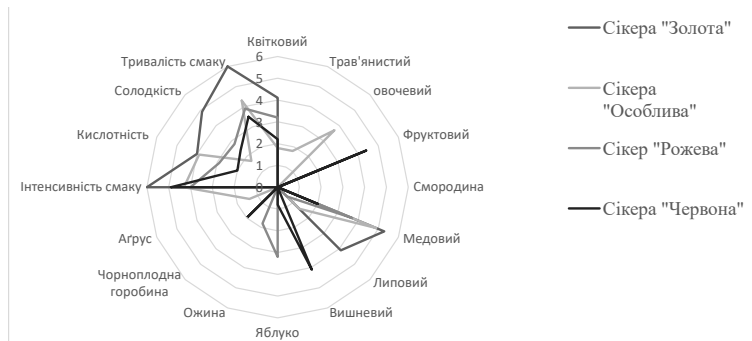


Рис. 1. Профілограма смаку та аромату медових вин Сікера

З профілограми медового вина Сікера «Золота» видно, що найбільшу оцінку серед ароматів має показник Медовий (5,3 бали), також слід відзначити, що вино тривале за смаком (6 балів) та має досить інтенсивний смак (6 балів).

На профілограмі медового вина Сікера «Особлива» видно, що наявний Овочевий дескриптор в ароматі (3,7 балів), що негативно вплинув на бальову оцінку цього зразка. Гарно відчувається Медовий аромат (4,9 балів), проте аромат Агрису не інтенсивний (1,4 бали). Вино характеризується довгою тривалістю (4,3 бали) та інтенсивністю смаку (4,3 бали).

Щодо сенсорного профілю Сікери «Рожевої», то в даному медовому вині смородина є одним з основних добавлених соків, але в ароматі вина жоден з дегустаторів не відчув його. Тому інтенсивність цього дескриптора має інтенсивність 0 балів. Дане вино має виражений Фруктовий (3,9 балів) та Медовий аромат (3,7 балів), має низьку Солодкість (2,8 бали), післясмак тривалий (3,9 балів) та смак інтенсивний (4 бали).

Профіль вина Сікера «Червона» відповідає за дескрипторами складовим вина; Фруктовий (4,4 бали) та Вишневий аромат (4,1 бали). Інтенсивність дескриптора Яблуко складає 0,8 бали, Чорноплідна горобина 2 бали. Вино має низьку Солодкість (2,4 бали) та високий показник має інтенсивності смаку (4,9 бали).

Висновки. Таким чином, дослідження показали, що українські медові вина відповідають досить високій якості за міжнародною 100-бальною шкалою. Проте два зразки віднесені до категорії вин з деякими недоліками. Дескриптивний метод дозволив виявити невластиві атрибути, наявність яких свідчить про існування певних проблем у дотриманні технологічного регламенту виробництва медових вин. Виявлені дані щодо негативних атрибутів медових вин сприяють розробці нових шляхів покращення якості медових вин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Long L. Honey: A Global History. Reaktion Books, Bern, 2017. 671 p.
2. Queiroz E. L. et al. Optimization of the fermentation process for mead production: a review. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*. 2024. T. 16. №. 1. P. 3103-3133.
3. Kuropatnicki A. K., Kłósek M., Kucharzewski M. Honey as medicine: historical perspectives. *Journal of Apicultural Research*. 2018. T. 57. №. 1. P. 113-118.
4. Harutyunyan M., Malfeito-Ferreira M. Historical and heritage sustainability for the revival of ancient wine-making techniques and wine styles. *Beverages*. 2022. T. 8. №. 1. P. 10.
5. Estreicher S. K. The beginning of wine and viticulture. *Physica status solidic*. 2017. T. 14. №. 7. P. 1700008.
6. Українські медовари: веб-сайт. URL: <https://medovary.com.ua/> (дата звернення: 02.12.2024).
7. Медова біржа: веб-сайт. URL: <https://www.honeyprice.ua> (дата звернення: 02.12.2024).
8. Медовуха: шкода і користь, корисні властивості і склад медовухи. веб-сайт. URL: <https://aquafitness.kiev.ua/?p=5296> (дата звернення: 10.12.2024).
9. Основи сенсорного аналізу харчових продуктів / Ткаченко О. Б. та ін. Одеса : Гельветика, 2020. 304 с.
10. Аналіз ринку інших ферментованих напоїв. Зелена книга. Аналіз ринку ферментованих алкогольних напоїв / Башняк Г. та ін. Київ, 2021. 176 с.
11. КД У 00011050-15.94.10-2:2008. Основні правила виробництва та зберігання плодово-ягідних вин і сидру. Київ, 2008. 18 с.

REFERENCES:

1. Long, L. (2017). *Honey: A Global History*. Reaktion Books. Bern [in English].
2. Queiroz, E. L., et al. (2024). Optimization of the fermentation process for mead production: a review. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 16(1), 3103-3133. [in English].
3. Kuropatnicki, A. K., Kłósek, M., & Kucharzewski, M. (2018). Honey as medicine: historical perspectives. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 113-118.
4. Harutyunyan, M., & Malfeito-Ferreira, M. (2022). Historical and heritage sustainability for the revival of ancient wine-making techniques and wine styles. *Beverages*, 8(1), 10.
5. Estreicher, S. K. (2017). The beginning of wine and viticulture. *Physica status solidic*, 14(7), 1700008.
6. Ukrainski medovary. [Site of «Ukrainian Medovary»]. Retrieved from <https://medovary.com.ua/> [in Ukrainian].
7. Medova birzha. [Site of «Medova birzha»]. Retrieved from <https://www.honeyprice.ua> [in Ukrainian].
8. Medovukha: shkola i koryst, korysni vlastyvoli i sklad medovukhy. [Site of «Medovukha: shkola i koryst, korysni vlastyvoli i sklad medovukhy»]. Retrieved from <https://aquafitness.kiev.ua/?p=5296> [in Ukrainian].
9. Tkachenko, O. B., et al. (2020). *Osnovy sensohnoho analizu kharchovykh produktiv*. Odesa: Helvetyka, 2020. [in Ukrainian].
10. Palazova, A., Lytvynenko, L., Prysiashniuk, I., Duplii, N., Yaremchuk, P., & Pinchuk, V. (2021). *Analiz rynku inshykh fermentovanykh napoiviu*. Zelena knyha. Analiz rynku fermentovanykh alkoholnykh napoiv. Kyiv [in Ukrainian].
11. Avidzdba, A. (2008). *KD U 00011050-15.94.10-2:2008. Osnovni pravyla vyrobnytstva ta zberihannia plodovo-iahidnykh vyn i sydru*. Kyiv, 2008. 18 s [in Ukrainian].

УДК 663.221:[634.85:551.583]:543.92.06
DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.21>

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ОРГАНОЛЕПТИЧНОГО ПРОФІЛЮ ВИН З ВИНОГРАДУ СОРТУ РИСЛІНГ РЕЙНСЬКИЙ, ВИРОБЛЕНОГО В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Каменева Н. В. – доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри технології вина та сенсорного аналізу
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5768-439X

Веречук О. А. – здобувачка Ph.D.
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0002-5121-571X

Афанасьєва Т. М. – кандидат технічних наук,
доцент технології вина та сенсорного аналізу
Одеського національного технологічного університету
ORCID ID: 0000-0003-2791-0779

В ході досліджень проаналізовано вплив кліматичних змін на формування сенсорного профілю білих столових вин та, зокрема, вин з винограду сорту Рислінг Рейнський. Метою дослідження є аналіз сучасного органолептичного профілю вин з винограду сорту Рислінг Рейнський в Україні та у світі, виробленого в умовах кліматичних змін та порівняльна їх характеристика. Матеріалами були сухі столові вина з винограду сорту Рислінг Рейнський з різних країн Європи (Франція, Німеччина, Італія, Україна), 2019–2020 років урожаю. Підготовлена дегустаційна панель з групи експертів згідно ДСТУ ISO 8586:2019. Статистична обробка результатів дослідження за оцінкою роботи експертів представлена профільним методом по кожному дескриптору окремо з застосуванням довірчого інтервалу. Оцінки дескрипторів смаку майже не відрізняються залежно від випробувача. За ароматичними дескрипторами різниця за експертами була більш помітна, це стосується дескрипторів цитрусових, квіткових та трав'яних нот. Статистична обробка роботи дегустаційною панеллю показала достатньо високий рівень підготовки та обізнаності експертів.

Створено смако-ароматичні профілі українських та німецьких вин з винограду сорту Рислінг Рейнський. Вина з винограду сорту Рислінг Рейнський, виробленого в Німеччині, сприймалися більш свіжішими з більш яскраво вираженою цитрусовою нотою. Українські вина зазвичай мали більш зрілі та розвинені аромати. Низький вміст вільного SO₂ негативно впливав на сенсорну оцінку українських вин з винограду сорту Рислінг Рейнський.

Проведено порівняльна характеристика сенсорних профілів вин різних країн з винограду сорту Рислінг Рейнський за допомогою методів сенсорного аналізу, зокрема розробленої авторської методики Наосліп. З'ясовано, що українські вина з винограду сорту Рислінг мають сенсорний профіль, який значно відрізняється від європейських аналогів, він має значно меншу інтенсивність первинних ароматів та на межі відсутності деякі кластери, які є в європейських аналогах, крім того вони мають меншу складність, короткий післясмак та гірший баланс. Дескриптори для вин, виготовлених в країні Європи корелюють між собою, їм притаманні майже одні типові для Рислінгів дескриптори. Сенсорна оцінка вин з винограду сорту Рислінг Рейнський за 100 бальною шкалою показала, що оцінки європейських зразків відрізняються від українських зразків, в середньому на 10 балів. За рівнями якості відповідно вина, які виготовлені в Україні мають рівень від середнього до дуже гарного, а європейські вина – від видатних вин до виняткових.

Ключові слова: виноград, вино, органолептичний, кліматичні зміни, профіль, смак, дескриптор, баланс.

Kameneva N. V., Verechuk O. A., Afanasieva T. M. Analysis of the modern organoleptic profile of wine from the grape variety of Riesling Reynsky, produced in conditions of climate change

The study analyzed the impact of climate change on the sensory profile formation of white table wines, particularly those from the Riesling variety. The purpose of the research is to analyze the current organoleptic profile of wines from the Riesling variety in Ukraine and worldwide, produced under conditions of climate change, and to compare their characteristics. The materials included dry table wines from Riesling grapes from different countries (France, Germany, Italy, Ukraine), 2019-2020 vintages. A tasting panel was prepared from a group of experts in accordance with DSTU ISO 8586:2019. Statistical processing of the research results based on the expert evaluations was presented using the profile method for each descriptor separately, applying a confidence interval. Taste descriptor ratings showed minimal variation depending on the tester. However, there was more noticeable variation among experts for aromatic descriptors, particularly for citrus, floral, and herbal notes. The statistical processing of the tasting panel's work demonstrated a sufficiently high level of preparation and expertise among the experts.

Flavor-aromatic profiles were created for Ukrainian and German wines from the Riesling variety. Wines from Riesling grapes grown in Germany were perceived as fresher with more pronounced citrus notes. Ukrainian wines generally had more mature and developed aromas. A low free SO_2 content negatively affected the sensory evaluation of Ukrainian wines from the Riesling variety.

A comparative characteristic of the sensory profiles of wines from different countries from the Riesling variety was conducted using sensory analysis methods, particularly the author-developed "Naoslip" method. It was found that Ukrainian Riesling wines have a sensory profile that significantly differs from their European counterparts, with much lower intensity of primary aromas and near absence of certain clusters present in European counterparts. Additionally, they have lower complexity, shorter aftertaste, and poorer balance. Descriptors for wines produced in European countries correlate with each other, with nearly all typical Riesling descriptors present. The sensory evaluation of wines from the Riesling variety on a 100-point scale showed that the scores for European samples differ from Ukrainian samples by an average of 10 points. In terms of quality levels, wines produced in Ukraine have ratings ranging from average to very good, while European wines range from excellent to outstanding.

Key words: grape, wine, organoleptic, climate change, profile, taste, descriptor, balance.

Постановка проблеми. Глобальне потепління змінить діапазон температур у більшості виноградарських районів і безпосередньо вплине на якість винограду і вина. Потепління клімату може здаватися не поганою, а часом навіть бажаною подією. Зими стають м'якшими, літо ще теплішим. Однак, насправді, вже змінюються і надалі будуть змінюватися кліматичні умови, які здавалися непорушними, про трансформацію яких нещодавно навіть не думали. Наприклад, європейці першими відчували зміну клімату на побутовому рівні, адже французькі вина, які століттями вважалися еталонними, стрімко змінюють свої властивості та якість разом зі зміною клімату.

Зміна клімату це трендові зміни температури поверхні планети та інших кліматичних факторів. Вони відбувалися упродовж всього існування Землі, однак ніколи не були такими стрімкими, як за останні 30 років. Достовірно встановлено, що температура повітря підвищується в усіх частинах світу. Внаслідок цього в атмосфері відбувається перебудова глобальних процесів перенесення тепла і вологи на всіх континентах. На сьогоднішній день існує близько 20 прогностичних моделей зміни клімату на глобальному рівні. Всі вони вказують на подальше потепління. Згідно з розрахунком цих моделей у 21 сторіччі на всій території України очікується підвищення температури понад 1,2 °C, що вже зафіксовано за 30 останніх років. Ймовірно що до кінця століття підвищення становитиме 2–4°C. За розрахунками кліматологів, середня швидкість потепління в Україні становить близько 0,4 °C за 10 років

Зараз клімат України у тренді глобального потепління, воно охопило всю територію нашої країни, а швидкість підвищення температури повітря навіть дещо випереджає середньосвітову [1].

Згідно досліджень головної характеристики зміни клімату, а саме середньої річної температури повітря нижнього шару атмосфери на висоті 1 метр над поверхнею, сучасний клімат України характеризується нерівномірним по території потеплінням, яскраво вираженим у зимові та літні місяці. За останні 30 років середня річна температура повітря в Україні підвищилася більше, ніж на 1 °С. Підвищення температури у холодний період (листопад-березень) складає в середньому 1,3° С, у теплий (квітень-жовтень) – 1,1 °С. Як свідчать дані, починаючи із 1991 року кожне наступне десятиріччя було теплішим попереднього: 1991–2000 – на 0,5 °С, 2001–2010 – на 1,2 °С, 2011–2019 – на 1,7 °С [2].

В південних регіонах Херсонської, Миколаївської, Одеської та Запорізької областях з'явилася термічна зона із сумою температур більше 3400–3700 °С. Окрім того, теплозабезпечення Вінницької, Полтавської, Харківської, Кіровоградської областей було таким, як в Херсонській області у попереднє десятиріччя. Тобто, області Північного степу і Південного лісостепу України наразі вже мають умови Південного степу та мають характерною особливістю то, що у цих областях зростання кількості тепла більш стрімке [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В 2019–2022 рр були проведені сенсорних досліджень, де розглядалися органолептичні показники вин з винограду сорту Рислінг Європи та України з різних кліматичних зон та зроблених за різними технологіями, проведено їх порівняльний аналіз. В результаті отриманих даних з'ясувалось, що Рислінги України мають сенсорний профіль, який значно відрізняється від європейських аналогів, а саме зразки мали меншу інтенсивність первинних ароматів, відсутність деяких кластерів, які є в європейських аналогах, та високу інтенсивність окислених ароматів. Частина цих відмінностей лежить в площині теруару виноградників України та клонів винограду, які використовують винороби. Разом з тим інша частина залежить від технології виробництва, тому вивчення впливу технологічних прийомів на формування органолептичного профілю вин з винограду сорту Рислінгів України [4–7].

Таким чином, тенденція зміни клімату та попередні наукові роботи щодо вивчення органолептичних показників білих вин показують необхідність удосконалення технології вин, вироблених з винограду сорту Рислінг Рейнський, вирощеного в Україні в сучасних умовах, оскільки саме на виноробні можна уникнути або запобігти більшості недоліків, які негативно впливають на формування сенсорного профілю [8; 9].

Метою дослідження є аналіз сучасного органолептичного профілю вин з винограду сорту Рислінг Рейнський в Україні та у світі, виробленого в умовах кліматичних змін та порівняльна їх характеристика.

В задачі досліджень входило: проаналізувати наукові джерела щодо впливу кліматичних змін на формування сенсорного профілю білих столових вин та, зокрема, вин з винограду сорту Рислінг Рейнський; сформувати та підготувати дегустаційну панель з групи експертів згідно ДСТУ ISO 8586:2019 [10]; створити смако-ароматичні профілі українських та німецьких вин з винограду сорту Рислінг Рейнський; провести порівняльну характеристику сенсорних профілів вин різних країн з винограду сорту Рислінг Рейнський за допомогою методів сенсорного аналізу; зробити математичну обробку отриманих результатів.

Матеріалами були сухі столові вина з винограду сорту Рислінг Рейнський з різних країн (Франція, Німеччина, Італія, Україна), 2019–2020 років урожаїв, 61 зразок.

У ході проведенні експерименту застосували **методи** сенсорного аналізу, а саме дескрипторно-профільний та баловий методи [11]. Для дескрипторно-профільного метода розроблена 10-тибальна шкала (метод Наосліп), для балового

методу використана 100-бальна система оцінок згідно з міжнародної організації OIV. Методологія Наосліп розроблена автором (Веречук Олена) в 2019–2021 рр., основана на існуючих стандартах та більш ніж 20-ти річному досвіду автора в роботі з винами, дає можливість детально розглянути органолептичні якості вина і зробити висновки, зважаючи на всі аспекти якості вина. На базі методу був розроблена навчальна методичка, який захищений авторським свідоцтвом [12]. Методологія включає в себе дві бальові шкали. Перша бальова шкала (від 1 до 10), описує наявність і інтенсивність кластерів та дескрипторів первинних, вторинних та третинних ароматів, і параметрів аромату та смаку вина (кислотність, цукор, алкоголь, таніни, інтенсивність аромату та смаку, оцінка тіла вина, його баланс та післясмак). Якісне просте вино має до трьох кластерів тільки первинних ароматів, вино якісне середньої складності має мати від 4-х до 5-ти кластерів первинних ароматів, а складне теруарне вино – від 6-ти кластерів тільки первинних ароматів. Друга шкала має ділення від 1 до 100 та описує загальний бал вина та є основним показником якості. Рівні якості за 100-бальною шкалою: до 59 – погане вино, 60–69 – посереднє вино, 70–79 – середня якість вина, 80–89 – від вище середнього до дуже гарного, 90–95 – видатні вина, 96–100 – виняткові вина.

Дослідження проведено відібраною та відкаліброваною дегустаційною комісією у кількості 9 експертів згідно з міжнародних вимог [10]. Для складання сенсорного профілю було використано чинну термінологію та еталонні зразки, що дозволило нам використовувати накопичений досвід експертів.

За останні 20 років сенсорний аналіз зазнав активного розвитку, як в розширенні інструментів та методики дослідження, так і в стандартизації їх на міжнародному рівні. Сьогодні в сенсорному аналізі використовуються статистичні методи обробки результатів досліджень у вигляді спеціалізованих програм. Результати досліджень статистично оброблені за допомогою програми PanelCheck V1.4.2.

Виклад основного матеріалу. Вивчення органолептичних особливостей вин з винограду сорту Рислінг Рейнський, вирощеного в Україні почався в 2011 році як спільний проект Університету Гайзенхайм та Одеського Національного Технологічного Університету (на той час Одеська національна академія харчових технологій). Результат роботи був представлений на конференція OENO IVAS 2017 в Бордо [13]. Дослідження показало, що в винах, вироблених з винограду сорту Рислінг Рейнський, вирощеного в Україні, загальний вміст SO_2 зазвичай був нижче 100–120 мг/дм³. Сортівий ароматичний склад деяких українських вин врожаїв 2016–2017 рр. мав більший вміст терпенів у порівнянні з іншими зразками вин, включаючи німецькі рислінги. Витримані зразки вин 2012–2014 років мали підвищений рівень вітіспірану (до 65 мкг/дм³) і 1,1,6-триметил-1,2-дигідронафталіну (TDN). Вина з винограду сорту Рислінг Рейнський, вирощеного в Німеччині, сприймалися споживачами більш свіжішими з більш яскраво вираженою цитрусовою нотою. Українські вина зазвичай мали більш зрілі та розвинені аромати. Низький вміст вільного SO_2 негативно впливав на сенсорну оцінку українських вин з винограду сорту Рислінг Рейнський, особливо на старих урожаєх.

За методологією наосліп в 2022 р. проведено дослідження щодо зразків вин з винограда сорту Рислінг Рейнський Європи та України, вінтажів 2019–2020 рр. (табл. 1–2, рис. 1–2). Розглядалися тільки первинні аромати, оскільки вина молоді і не мали часу для появи третинних. Всі дескриптори сформовані в кластери ароматів (кісточкові фрукти, цитрусові фрукти, тропічні фрукти, квіти та трави, спеції та прянощі, мінеральність). Кожен параметр має свій коефіцієнт якості, оскільки частина з них залежить від сорту винограду та технології виробництва.

Таблиця 1

**Сенсорна оцінка вин, вироблених з сорту Рислінг Рейнський,
вищого в країнах Європи, за 100 -бальною шкалою**

№	Країна	Регіон, назва виноградника	Виробник	Оцінка	Стандартне відхилення	Дисперсія
1	Франція	Alsace, Altenberg	Domaine Frédéric Mochel	91,2	3,59	12,9444
2		Alsace, Engelberg	Domaine Pfister	89,6	2,35	5,5278
3		Alsace, Geisberg	Domaine André Kientzler	88,1	2,71	7,3611
4		Alsace, Grafenreben	Domaine Bott-Geyl	90,4	2,45	6,0278
5		Alsace, Kastelberg	Domaine Marc Kreydenweiss	90,3	2,34	5,5000
6		Alsace, Muehlforst	Domaine Mittnacht Frères	93,7	2,34	5,5000
7		Alsace, Clos Saint-Urbain	Domaine Zind-Humbrecht	92,6	1,87	3,5278
8		Alsace, Rosacker	Mittnacht	91,2	2,38	5,6944
9		Alsace, Schlossberg	Domaine Weinbach	95,1	1,05	1,1111
10		Alsace, Sommerberg	Domaine Albert Boxler	90,4	3,65	7,0278
11	Німеччина	Rheingau, Berg Schlossberg	Weingut Georg Breuer	93,7	1,22	1,5000
12		Pfalz, Bürgergarten	Weingut Müller-Catoir	89,2	1,78	3,1944
13		Rheingau, Doosberg	Peter Jakob Kühn	90,5	2,01	4,0278
14		Rheinhessen, Frauenberg	Weingut Battenfeld Spanier	89,1	2,52	6,3611
15		Nahe, Frühling-splätzchen	Weingut Emrich-Schönleber	92,3	1,87	3,5000
16		Pfalz, Goldberg	Weingut Lingenfelder	91,5	1,98	3,9444
17		Rheingau, Gräfenberg	Weingut Robert Weil	89,8	1,98	3,9444
18		Nahe, Hermannshöhle	Weingut H. Dönnhoff	94,2	1,09	1,1944
19		Pfalz, Idig	Weingut A. Christmann	91,6	3,59	12,9444
20		Nahe, Karthäuser	Weingut Tesch	92,4	2,74	7,5278
21		Pfalz, Kastanienbusch	Weingut Ökonomierat Rebholz	96,2	1,20	1,4444
22		Mosel, Marienburg	Weingut Clemens Busch	91,4	3,04	9,2778
23		Rheinhessen, Morstein	Weingut Wittmann	95,3	1,58	2,5000
24		Rheinhessen, Pettenthal	Weingut Kühling-Gillot	91,7	1,73	3,0000
25		Nahe, Rheingrafenberg	Weingut Hexamer	91,6	2,06	4,2778
26		Pfalz, Saumagen	Weingut Koehler-Ruprecht	92,3	2,34	5,5000

27	Австрія	Wachau, Achleiten	Weingut Prager	89,5	2,06	4,2778
28		Wachau, Bruck	Peter Veyder-Malberg	88,3	1,58	2,5000
29		Wachau, Kellerberg	Weingut F.X. Pichler	90,2	2,16	4,6944
30		Wachau, Kirchweg	Weingut Rudi Pichler	92,8	1,48	2,1944
31		Wachau, Schütt	Weingut Emmerich Knoll	93,4	1,51	2,2778
32		Wachau, Steinertal	Weingut Leo Alzinger	90,2	2,17	4,6944
33		Kremstal, Ehrenfels	Weingut Proidl	90,1	2,84	8,1111
34		Traisental, Engelreich	Weingut Markus Huber	89,4	1,81	3,2778
35		Kamptal, Gaisberg	Schloss Gobelsburg	90,6	1,56	3,2778
36		Kremstal, Grillenparz	Weingut Stadt Krems	89,2	1,73	2,4444
37		Kamptal, Heiligenstein	Weingut Bründlmayer	90,7	1,69	3,0000
38		Kremstal, Mosburgerin	Weingut Buchegger	92,1	1,33	2,8611
39		Kremstal, Pellingen	Weingut Nigl	91,4	1,00	1,7778
40		Kremstal, Silberbichl	Weingut Malat	92,7	1,64	1,0000
41		Kamptal, Steinmassl	Weingut Loimer	91,8	1,33	2,6944
42	Італія	Alto Adige, Kaiton	Weingut Kuen Hof	93,2	1,39	1,9444
43		Alto Adige, Unterortl	Weingut Unterortl Castel Juval	94,6	1,51	2,2778
44		Alto Adige, Untersteiner	Weingut Niedrist	90,3	1,58	2,5000

Найважливішими параметрами є баланс вина та післясмак, саме ці параметри, а також кількість кластерів з первинних, вторинних та третинних ароматів впливають на визначення балів для другої шкали.

Первинні кластери ароматів, які характерні для вин з винограду сорту Рислінг Рейнський, більш притаманні винам європейських зразків. Найбільшу інтенсивність показують кластери кісточкових фруктів, цитрусових та мінеральний кластер, які є домінуючими майже у всіх дослідних зразках. Квіти та трави дають високу інтенсивність в винах з півночі Італії та Австрії та найкращих зразках Німеччини (винах GG). Всі вина мають високу кислотність, що також є типовим для вин з винограду сорту Рислінг Рейнський (рис. 1) За рідким виключення, Рислінги Європи є якісними винами з преміального сегменту, більшість оцінок вище 90 балів показують, що вина мають гарний баланс та довгій післясмак, крім того вони мають великий потенціал (завдяки високій кислотності та кількості дескрипторів) для розвитку, і можливо з часом, коли первинні аромати будуть поступово переходити в третинні, бали можуть бути вищі (табл. 1, рис. 2).

Рислінги України мають сенсорний профіль, який значно відрізняється від європейських аналогів. Він має значно меншу інтенсивність первинних ароматів та на межі відсутності деякі кластери, які є в європейських аналогах. Результати досліджень показують зменшення кількості дескрипторів в українських винах в порівнянні з винами, які виготовлені в Європі, а саме дескриптори кісточкових та трав, також відмічене набагато менше цитрусових та мало дескрипторів мінеральних тонів (рис. 1).

Таблиця 2

**Сенсорна оцінка вин, вироблених з винограду сорту Рислінг Рейнський,
вирощеного в Україні, за 100-бальною шкалою**

№ зразка	Регіон	Назва, виробник	Оцінка	Стандартне відхилення	Дисперсія
1	Херсон	Рислінг dry Рейнський, Трубецкой	85,3	85,3	2,0000
2	Миколаїв	Riesling dry, Beykush	82,1	82,1	7,3611
3	Одеса	Riesling dry, Villa Tinta	80,6	80,6	1,7778
4	Одеса	Riesling Reserve semi-dry, Shabo	81,4	81,4	1,5278
5	Миколаїв	Наддніпрянське Трубецкого, Трубецкой	81,7	81,7	2,2500
6	Миколаїв	Рислінг сухий, Гончарна Гора	81,6	81,6	2,2778
7	Миколаїв	Riesling dry, Chmil	80,3	80,3	1,7778
8	Одеса	Riesling Reserve dry, Shabo	81,5	81,5	1,0278
9	Закарпаття	Riesling dry, Chizay	79,2	79,2	2,4444
10	Одеса	Riesling Brut, Frumushika-Nova	81,4	81,4	1,5278
11	Одеса	Рислінг сухий Гранд Вале, Grand Valle	80,6	80,6	1,4444
12	Одеса	Riesling dry, Nicodeme	79,3	79,3	1,2778
13	Одеса	Riesling dry, Wineidea	81,8	81,8	0,7500
14	Одеса	Riesling dry, Bezzub	79,0	79,0	2,6111
15	Одеса	Рислінг сухий, GIGI	81,4	81,4	1,5278
16	Одеса	Рислінг сухий, Vinopion	78,5	78,5	1,0278
17	Одеса	Riesling dry, Malanchuk	79,2	79,2	1,2778
18	Закарпаття	Riesling acewine, Chizay	85,4	85,4	1,4444
19	Миколаїв	Riesling dry, Falko	82,6	82,6	1,0000
20	Одеса	Riesling dry , Narovilo	83,3	83,3	1,9444

За 100-бальною шкалою, середній бал українських вин 81 бал, що каже про рівень якості вин, який характерний для базового вина, без потенціалу для витримки, хоча кислотність гарна і відповідає міжнародному сенсорному профілю вин з сорту Рислінг рейнський. Решта дескрипторів не є показовою для данного сорту, це особливо важливо, бо Рислінг Рейнський ціниться перш за все своїми видатними винами і потенціалом для витримки (табл. 2, рис. 1–2).

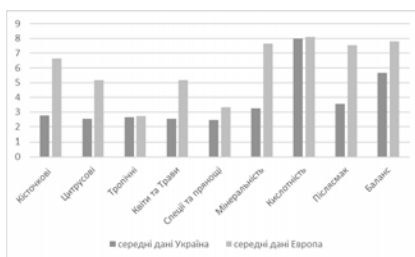


Рис. 1. Порівняльний аналіз сенсорних характеристик вин, вироблених з сорту Рислінг Рейнський, вирощених в Україні та країнах Європи

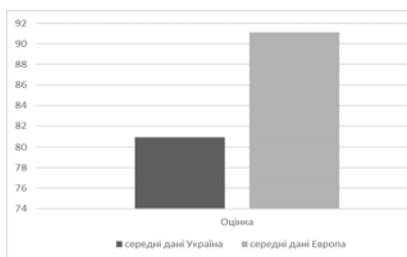


Рис. 2. Порівняльний аналіз оцінок за 100-бальною шкалою для вин, вироблених з сорту Рислінг Рейнський, вирощених в Україні та країнах Європи

Результати досліджень порівняльною характеристики український вин та європейський достовірні при 95% рівні достовірності F критичне $> F$ (табл. 3).

Таблиця 3

Результати дисперсійного однофакторного аналізу

Джерело варіації	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Між групами	14766,93	63	234,39	65,66	1,8055E-206	1,33
Всередині груп	1827,55	512	3,56			
Всього	16594,49	575				

Перед проведення сенсорного дослідження з визначення сенсорних профілів вин з винограду сорту Рислінг різних країн було проведено тестування та калібрування експертів щодо дескрипторів стосовно вин з винограду сорту Рислінг згідно ДСТУ ISO 8586:2019 [10].

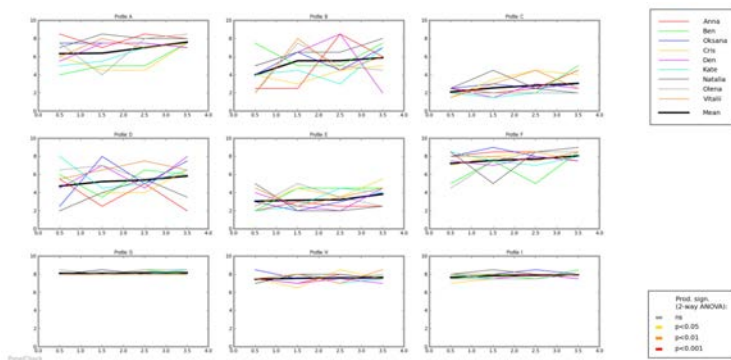


Рис. 3. Статистична обробка результатів моніторингу роботи експертів де дескриптори : А -Кісточкові фрукти; В -Цитрусові фрукти; С – Тропічні фрукти; D -Квіти та Трави; Е – Спеції та Прянощі; F – Мінеральний; G – Кислотність; H – Післясмак; I – Баланс

В дослідження приймали участь 9 експертів. Статистична обробка результатів дослідження за оцінкою роботи експертів представлена профільним методом по кожному дескриптору окремо з застосуванням довірчого інтервалу p (чим він більше, тим точніші результати). Для кожного дескриптора різними кольорами зображені по осі X – ранжування зразків, а по Y – оцінювання, від кожного випробувача. На діаграмах профілів жирною чорною лінією позначений консенсус. Відповідно до цього, оцінки дескрипторів смаку, а саме кислотність, післясмак, баланс та дескриптору мінеральність смаку майже не відрізняються залежно від випробувача, тому можна відмітити високий рівень підготовки експертів за цими показниками. Щодо ароматичних дескрипторів різниця за експертами була більш помітна, це стосується дескрипторів В-цитрусові та D- квіти та трави. Але все оцінки знаходяться в сірою зоні ns , тому можна зробити висновок що експерти мають достатньо високий рівень обізнаності (рис. 3).

Principal component analysis (PCA) – аналіз основних компонентів та дозволяє виявити кореляцію дескрипторів різних зразків та власне дескрипторів (рис. 4).

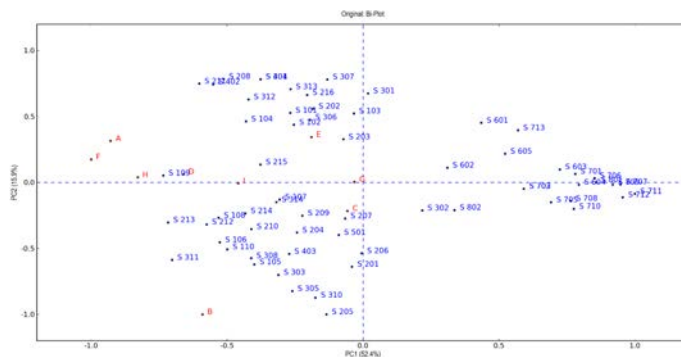


Рис. 4. PCA-карта досліджуваних зразків вин з сорту винограду, які виготовлені в країнах Європи та України.

де А – Кісточкові фрукти; В – Цитрусові фрукти; С – Тропічні фрукти;
D – Квіти та Трави; Е – Спеції та Прянощі; F – Мінеральний; G – Кислотність;
H – Післясмак; I – Баланс

зразки з країни: S101–S110 Франція; S202–S216 Німеччина; S301–S314 Австрія;
S401–S403 Італія; S501, S601–S605, S701–S13, S 801–802 – Україна

PCA-карта складана для 44 зразків вин з сорту винограду, які виготовлені в країнах Європи (10 зразків Франція, 16 зразків з Німеччини, 15 зразків з Австрії, 3 зразка з Італії) та 20 зразків вин з України (Одеса, Миколаїв, Херсон, Закарпаття), 9 дескрипторів: кісточкові фрукти; цитрусові фрукти; тропічні фрукти; квіти та трави; спеції та прянощі; мінеральний; кислотність; післясмак; баланс (рис. 4).

Рислінги України мають сенсорний профіль, який значно відрізняється від європейських аналогів. Він має значно меншу інтенсивність первинних ароматів та на межі відсутності деякі кластери, які є в європейських аналогах (рис. 4).

PCA-карта показує, що дескриптори країн Європи корелюють між собою, їм притаманні майже одні дескриптори. А зразки український вин відрізняється від стилю зразків вин з Європи. Окремо між собою позитивно корелюють групи дескрипторів: А, F, H,

та J (кісточкові фрукти; квіти та трави; мінеральний та післясмак), вони найбільш притаманні зразкам, які виготовлені в Німеччині та Франції. Саме в винах цих країн відмічено характерні дескриптори персика, мінеральність та гарний баланс. Група дескрипторів B та C (цитрусові та тропічні фрукти) характерні більш для вин з Австрії та Італії. Група дескрипторів J та G (кислотність та баланс) знаходяться на осі, що підтверджує у вин, виготовлених в країнах Європи гарну кислотність та баланс (рис. 4).

Висновки. В ході досліджень проаналізовані наукові джерела щодо впливу кліматичних змін на формування сенсорного профілю білих столових вин та, зокрема, вин з винограду сорту Рислінг Рейнський.

Підготовлена дегустаційну панель з групи експертів згідно ДСТУ ISO 8586:2019 [10]. Статистична обробка результатів дослідження за оцінкою роботи експертів представлена профільним методом по кожному дескриптору окремо з застосуванням довірчого інтервалу. Оцінки дескрипторів смаку, а саме кислотність, післясмак, баланс та дескриптору мінеральність смаку майже не відрізняються залежно від випробувача, тому можна відмітити високий рівень підготовки експертів за цими показниками. За ароматичними дескрипторами різниця за експертами була більш помітна, це стосується дескрипторів B-цитрусові та D- квіти та трави. Але все оцінки знаходяться в сірою зоні ns, тому можна зробити висновок що експерти мають достатньо високий рівень обізнаності.

Створено смакоароматичні профілі українських та німецьких вин з винограду сорту Рислінг Рейнський. Вина з винограду сорту Рислінг Рейнський, вирощеного в Німеччині, сприймалися більш свіжішими з більш яскраво вираженою цитрусовою нотою. Українські вина зазвичай мали більш зрілі та розвинені аромати. Низький вміст вільного SO₂ негативно впливав на сенсорну оцінку українських вин з винограду сорту Рислінг Рейнський.

Проведено порівняльна характеристика сенсорних профілів вин різних країн з винограду сорту Рислінг Рейнський за допомогою методів сенсорного аналізу. З'ясовано, що українські вина з винограду сорту Рислінг Рейнський мають сенсорний профіль, який значно відрізняється від європейських аналогів, він має значно меншу інтенсивність первинних ароматів та на межі відсутності деякі кластери, які є в європейських аналогах, крім того вони мають меншу складність, коротший післясмак та гірший баланс. Дескриптори для вин, виготовлених в країн Європи корелюють між собою, їм притаманні майже одні дескриптори.

Сенсорна оцінка вин з винограду сорту Рислінг Рейнський за 100 бальною шкалою показала, що оцінки європейських зразків відрізняються від українських зразків, в середньому на 10 балів. Українські зразки, мають бали від 79,0 до 85,4; європейські, відповідно від 86,9 до 96,2 балів. За рівнями якості відповідно вина, які виготовлені в Україні мають рівень від середнього до дуже гарного, а європейські вина – від видатних вин до виняткових.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Адаменко, Т.І., Кульбіда, М.І., А. Л. П. Агрокліматичні ресурси України Атлас Агрокліматичні ресурси України. *Український гідрометеорологічний центр*. 2016. С. 113.
2. Spinoni, J. Meteorological Droughts in Europe / 2016. 134 p.
3. Ромащенко, М. І., Сорока, Ю. В. *Наукові засади розвитку землеробства в зоні степу України*. 2015. Vol. 58. С. 5–9.
4. Verechuk, O., Kameneva, N. Creation of Sensory Profiles of Riesling Wines From Europe, America and Oceania and Their Comparative Characteristics. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2022. Vol. 311, No. 4. С. 64–69.

5. Willwerth, J. J., Reynolds, A. G., Lesschaeve, I. Sensory analysis of Ontario Riesling wines from various water status zones. *Oeno One*. 2018. Vol. 52, No. 2. C. 18.
6. Willwerth, J. J., Reynolds, A. G., Lesschaeve, I. Sensory analysis of riesling wines from different sub-appellations in the Niagara Peninsula in Ontario. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2015. Vol. 66, No. 3. C. 29-31.
7. Elmacı, Y., Kalkan Yıldırım, H., Yücel, U., та ін. Descriptive Profiling of Flavor Attributes of White Wines From Different Grape Varieties. *International Journal of Food Properties*. 2007. Vol. 10, No. 3. C. 651–659.
8. Herjavec, S., Jeromel, A., Prusina, T., та ін. Effect of Cold Maceration Time on Zilavka Wines Composition Utjecaj Hladne Maceracije Na Kemijski Sastav Vina Zilavka. *Journal of Central European Agriculture*. 2008. Vol. 9, No. 3. C. 505–510.
9. Cerbu, M. I., Colibaba, C. L., Luchian, C., та ін. Effect of ageing on lees on the quality of white and rosé wines from Iasi vineyard. *BIO Web of Conferences*. 2023. Vol. 56. C. 145-149.
10. ДСТУ ISO 8586:2019 “Дослідження сенсорне. Загальні настанови щодо відбору, навчання та контролю відібраних експертів та експертів з органолептичного оцінювання.
11. ДСТУ ISO 6564:2005 Дослідження сенсорне. Методологія. Методи створювання спектра флейвору (ISO 6564:1985, IDT).
12. Olena Verechuk. Наосліп. Заява на реєстрацію авторського права, вхідний номер c202409473 від 19.11.2024.
13. Tarasov, A., Schüßler, C., Hormuth, M., та ін. Riesling wines from Ukraine : specifics of the regional wines. 2017. C. 3.

REFERENCES:

1. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I., A. L. P. (2016). *Agroklimatychni resursy Ukrainy Atlas Agroklimatychni resursy Ukrainy*. Kyiv: Ukrainskyi Hidrometeorologichnyi Tsentр [in Ukrainian].
2. Spinoni, J. (2016) Meteorological Droughts in Europe. 134 p.
3. Romashchenko, M. I., Soroka, Yu. V. (2015) *Naukovi zasady rozvytku zemlerobstva v zoni stepu Ukrainy*. Kyiv: visnyk agrarnoi nauky [in Ukrainian].
4. Verechuk, O., Kameneva, N. (2022) Creation of Sensory Profiles of Riesling Wines From Europe, America and Oceania and Their Comparative Characteristics. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. Vol. 311, No. 4. p. 64–69.
5. Willwerth, J. J., Reynolds, A. G., Lesschaeve, I. (2018) Sensory analysis of Ontario Riesling wines from various water status zones. *Oeno One*. Vol. 52, No. 2. p. 18.
6. Willwerth, J. J., Reynolds, A. G., Lesschaeve, I. (2015) Sensory analysis of riesling wines from different sub-appellations in the Niagara Peninsula in Ontario. *American Journal of Enology and Viticulture*. Vol. 66, No. 3. p. 29-31.
7. Elmacı, Y., Kalkan Yıldırım, H., Yücel, U., and other. (2007) Descriptive Profiling of Flavor Attributes of White Wines From Different Grape Varieties. *International Journal of Food Properties*. Vol. 10, No. 3. p. 651–659.
8. Herjavec, S., Jeromel, A., Prusina, T., and other. (2008) Effect of Cold Maceration Time on Zilavka Wines Composition Utjecaj Hladne Maceracije Na Kemijski Sastav Vina Zilavka. *Journal of Central European Agriculture*. Vol. 9, No. 3. p. 505–510.
9. Cerbu, M. I., Colibaba, C. L., Luchian, C., and other. (2023) Effect of ageing on lees on the quality of white and rosé wines from Iasi vineyard. *BIO Web of Conferences*. Vol. 56. p. 145-149.
10. DSTU ISO 8586:2019 Doslidzhennia sensorne. Zahalni nastanovy shchodo vidboru, navchannia ta kontroliu vidibranykh ekspertiv ta ekspertiv z orhanoleptychnoho otsiniuvannia. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine [in Ukrainian].
11. DSTU ISO 6564:2005 Doslidzhennia sensorne. Metodolohiia. Metody stvoriuvannia spektra fleivoru (ISO 6564:1985, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine [in Ukrainian].
12. Olena Verechuk (2024) Naoslip. Zaiava na reiestratsiiu avtorskoho prava, vkhidnyi nomer c202409473 vid 19.11.2024. Kyiv [in Ukrainian].
13. Tarasov, A., Schüßler, C., Hormuth, M., and other. (2017) Riesling wines from Ukraine : specifics of the regional wines. p. 3.

УДК 664.681

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.22>

АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ СТАРОДАВНІХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ У РЕСТОРАННОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Ляхович П. С. – здобувачка вищої освіти (бакалавр)
кафедри технології та аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0009-0002-9605-0506

Нєміріч О. В. – доктор технічних наук, професор,
завідувачка кафедри технології та аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0009-0005-3479-1466

Кузьмін О. В. – доктор технічних наук,
професор кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0001-9321-6684

Мамченко Л. Є. – кандидат технічних, доцент кафедри
технології ресторанної і аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0003-2519-043X

Наконечна А. С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри
технології ресторанної і аюрведичної продукції
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0003-3494-9540

Мурзін А. В. – старший викладач кафедри технології ресторанної
і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0009-0002-4153-5311

Стародавні кондитерські вироби займають особливе місце в українській кулінарній спадщині. Відтворення рецептури шулик у ресторанному господарстві є важливим завданням. У статті представлено дослідження історії, технології та культурного значення шуликів, а також їх впровадження в сучасні умови, що має важливе значення для глибокого розуміння української кулінарної спадщини та збагачення сучасної гастрономічної картини.

Експериментальні дослідження пружності, активної кислотності та мікроскопія тіста дозволили з прогнозувати вплив інгредієнтів на смак, пористість та якість готових виробів. Проведено порівняльну характеристику харчової цінності, вологості та органолептичних показників шуликів.

Використання сучасних інгредієнтів та методів обробки дозволило зберегти автентичний смак та підвищити харчову цінність виробів. В результаті експериментів розроблено нові рецептури, які успішно поєднують традиції та сучасні технології. Показано вплив інгредієнтів, які позитивно впливають на показники кількісного та якісного складу, роблячи вироби більш збалансованими та поживними за нутрієнтним складом. Експериментальні дані свідчать про поліпшення текстури та консистенції шуликів.

Для створення нової рецептури шуликів, до тіста було додано кероб, льон, пшеничні висівки, також створено смакову гармонію за рахунок оздоблення різними кремами: карамельно-заварним, вершково-сирним, лимонним курдом.

Впровадження нових рослинних інгредієнтів та удосконалення технологій виготовлення шуликів дозволить підвищити їх привабливість серед сучасних споживачів, зберігаючи при цьому традиційні компоненти та смаки. Зміни у рецептурі та зовнішньому вигляді роблять шулики більш актуальними та цікавими для нового покоління, сприяючи відродженню автентичних українських страв у сучасній кулінарії.

Ключові слова: автентичність, нутрієнти, кондитерські вироби, шулики, кероб, льон, пшеничні висівки, інновація.

Liakhovych P. S., Niemirich O. V., Kuzmin O. V., Mamchenko L. Ye., Nakonechna A. S., Murzin A. V. Aptation of technology of ancient confectionery products in the restaurant industry

Ancient confectionery products occupy a special place in the Ukrainian culinary heritage. Reproducing the recipe of shulyky in the restaurant industry is an important task. The article presents a study of the history, technology and cultural significance of shulyky, as well as their implementation in modern conditions, which is of great importance for a deep understanding of the Ukrainian culinary heritage and the enrichment of the modern gastronomic picture.

Experimental studies of elasticity, active acidity and microscopy of the dough made it possible to predict the influence of ingredients on the taste, porosity and quality of finished products. A comparative characteristic of the nutritional value, moisture and organoleptic indicators of shulyky was carried out.

The use of modern ingredients and processing methods made it possible to preserve the authentic taste and increase the nutritional value of the products. As a result of the experiments, new recipes were developed that successfully combine traditions and modern technologies. The influence of ingredients that positively affect the indicators of quantitative and qualitative composition, making the products more balanced and nutritious in terms of nutrient composition, is shown. Experimental data indicate an improvement in the texture and consistency of shulyky.

To create a new shulyky recipe, carob, flax, and wheat bran were added to the dough, and flavor harmony was also created by decorating with various creams: caramel-custard, cream-cheese, and lemon curd.

The introduction of new plant ingredients and improved shulyky manufacturing technologies will increase their appeal among modern consumers, while preserving traditional components and flavors. Changes in the recipe and appearance make shulyky more relevant and interesting for the new generation, contributing to the revival of authentic Ukrainian dishes in modern cooking.

Key words: authenticity, nutrients, confectionery, shulyky, carob, flaxseed, wheat bran, innovation.

Вступ. Однією з актуальних тем сьогодення є впровадження української кухні з застосуванням етнічних українських страв в тому числі і кондитерських виробів. Більшість підприємців зацікавлені у впровадженні автентичної української культури та традицій, все більше людей охоплюють тренд відновлення автентичних страв та виробів, впровадження локальних українських продуктів, цікавляться та поглиблюють знання з різновидів українських суперфудів. Тому тема щодо удосконалення технологій стародавніх українських кондитерських виробів, а особливо впровадження їх у сучасних умовах є досить актуальною.

Автентичні українські кондитерські вироби мало відомі на нашому ринку, але вони наповнені історією, традиціями та неймовірними смаками. Одним із таких видатних десертів, що займає особливе місце в українській кулінарній спадщині, є шулики, це автентичний український кондитерський виріб, який недооцінено забутий.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Українська кухня має давні традиції, які сьогодні відображені в кулінарних практиках та улюблених смаках. Люди хочуть споживати натуральну і смачну їжу. В останні роки помітний стрімкий інтерес до «свого». Зростає цікавість до старих рецептів і зростає чисельність прихильників кулінарної спадщини.

Українська кухня багата на рецепти, які прийшли до нас крізь віки та покоління. Наш обов'язок – плекати чудові традиції та знаходити їм застосування у новому часі [1].

Як відомо, іноді одна і та ж страва народної кухні має десятки варіантів приготування і кілька паралельних назв. Мачаники, вараніці (Чернівецька область), шулики, ламанці – (Київщина), – насправді це різні назви легкої десертної страви, котра на Маковея набуває обрядової ролі, а в інші дні – це просто смачно. Готують шулики і на колективні толоки (клаки), в деяких селах цю страву дають за поману. Згадується ця страва серед козацьких частувань, у знаменитій «Енеїді» Івана Котляревського [2–4].

Актуальною темою сьогодення є впровадження всього українського. Більшість підприємців зацікавлені у впровадженні автентичної української культури та традицій, все більше людей охоплюють тренд відновлення автентичних страв та виробів, впровадження локальних українських продуктів, цікавляться та поглиблюють знання з різновидів українських суперфудів.

Метою роботи є удосконалення технології стародавніх українських кондитерських виробів та впровадження їх у сучасних умовах, шляхом додавання до тіста керобу, льону, пшеничних висівок. І створення смакової гармонії шляхом додавання різних кремів: карамельно-заварного, вершково-сирного кремів та лимонного курду.

Матеріали і методи дослідження. У дослідженнях використовували кероб Valuen (Іспанія), пшеничні висівки Elovena (Фінляндія) та насіння льону Здорово (Україна).

Масову частку вологи випеченого напівфабрикату – коржів був здійснений за допомогою приладу Чижової. Активну кислотність тіста за допомогою рН-метра марки МІ150. Мікроскопію тіста шуликів було досліджено за допомогою мікроскопа KERN OBE-134. Визначення пружності клейковини тіста було здійснено за допомогою приладу ВДК-7, що базується на реологічному аналізі стискання кульки клейковини. Органолептичні показники готових зразків шуликів оцінено за 10-ти бальною шкалою.

Виклад основного матеріалу. На перший погляд немає нічого особливого, шулики – це простий пісний коржик, який ламають на шматочки і подають із заливкою з маку та меду, але попри всю простоту, за шуликами зберігається не тільки певні обряди, а й неймовірний смак [3, 6].

Першочергово, шулики, являють собою пісну страву, але так як ця страва досить легка і не вибаглива в приготуванні та інгредієнтах, її готувати можна просто, як ласощі на кожен день, додавати в тісто молоко або кефір, сметану, вершкове масло, так як це робить випічку більш ніжнішою [6].

Шулики потребують поліпшення для підвищення їх привабливості серед сучасних споживачів, збільшення їх пізнаваності та інтересу до них. Це включає вдосконалення рецептури та зміни у зовнішньому вигляді виробу, що дозволить зберегти традиційні компоненти (корж і мак) і водночас зробити шулики більш привабливими для нового покоління.

Було проведено ряд експериментів, зокрема використання сучасних інгредієнтів та методів обробки, що дозволило зберегти автентичний смак та підвищити харчову цінність виробів. В результаті експериментів було розроблено нові рецепти, які успішно поєднують традиції та сучасні технології (рис. 1):

- Пшеничні висівки додані в корж у поєднанні мусу з маком та лимонний курд.
 - Кероб, доданий в тісто, об'єднали з карамельним кремом та маковим соусом;
 - Мелений льон додали в тісто, у поєднанні з вершково-сирним кремом, маковою начинкою та лимонним курдом;
 - Кероб який додали в тісто, об'єднали його з карамельним кремом та маковим соусом.
-



Рис. 1. Інноваційні вироби

Льон – це справжній український суперфуд, так як він недорогий, доступний для всього населення, і найголовніше, корисний та цінний продукт. Льон додається до тіста, так як є джерелом омега жирів і антиоксидантів, являється натуральним сорбентом, який виводить радіонукліди з організму, стабілізує рівень цукру в крові. Додавали льон саме перемеленим, так як оболонка його дуже тверда, а людський шлунок не в змозі перетравити його повністю, що знижує отримання та засвоєння Омега-3 [7, 8].

Висівки – це побічний продукт борошномельного виробництва, які отримані під час лушення зерна, тобто зовнішній, твердий шар зерна. Пшеничні висівки додаються до тіста так як містять велику кількість білків та вітаміну В, є джерелом клітковини, мінералів, вітамінів та антиоксидантів [9, 10].

Кероб – це альтернатива какао, має низьку калорійність, солодкий смак, що дозволяє не використовувати цукор, він є повністю гіпоалергенний та у ньому міститься велика кількість поживних речовин, має властивості сорбенту. До тіста додається кероб з метою: збагачення виробу нутрієнтами (вітамінами А, D, мінералами та клітковиною), зменшення вмісту жиру та надання виробу приємного пряно-шоколадного смаку [11].

Визначено пружність клейковини тіста, що дозволяє оцінити якість клейковини та її здатність забезпечувати структуру тіста. Отримані результати демонструють різницю у пружності клейковини контрольного зразка та зразків з додаванням пшеничних висівок, льону та керобу (рис. 2).

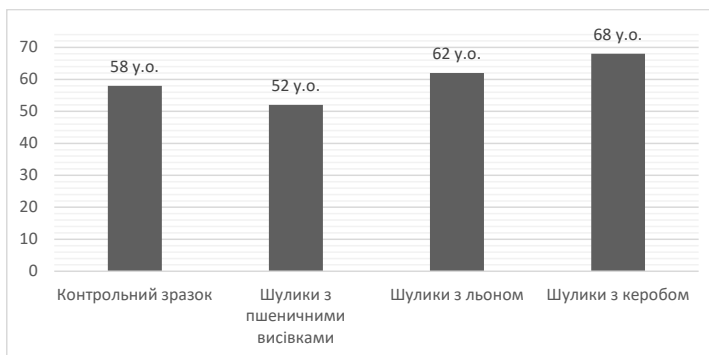


Рис. 2. Пружність клейковини досліджуваних зразків тіста шуликів, у.о.

Пружність клейковини контрольного зразка шуликів становить 58 у.о., що свідчить про середній рівень якості клейковини (рис. 2). Пружність клейковини зразка шуликів з пшеничними висівками 52 у.о., що вказує на деяке зниження якості клейковини порівняно з контрольним зразком. Це може бути пов'язано з впливом висівків на структуру тіста. Висівки дещо погіршують здатність клейковини утримувати структуру тіста. Вони виконують роль наповнювача, який розриває клейковинну сітку, що знижує еластичність і пружність тіста.

Пшеничні висівки мають високу здатність до водопоглинання, що може впливати на гідратацію клейковинних білків. Це може призвести до утворення більш вільної і менш зв'язаної структури тіста. У деяких випадках це може сприяти покращенню текстури і збільшенню об'єму випічки, але водночас призвести до зменшення міцності клейковини.

Хоча пшеничні висівки можуть знижувати пружність клейковини, вони значно підвищують харчову цінність тіста за рахунок додаткових харчових волокон, вітамінів і мінералів. Це робить вироби більш корисними для здоров'я, хоча і може вимагати коригування рецептури для збереження бажаних текстурних характеристик.

Згідно з результатами дослідження, додавання меленого льону до тіста призвело до підвищення пружності клейковини і становить 62 у.о. Це свідчить про те, що льон може сприяти зміцненню клейковинної сітки, роблячи тісто більш пружним та еластичним. Мелений льон має високу здатність до водопоглинання завдяки вмісту слизів та клітковини. Це може сприяти кращій гідратації клейковинних білків, що покращує зв'язність і еластичність тіста. Більш гідратовані білки краще утримують газ, що сприяє збільшенню об'єму випічки.

Найвища пружність клейковини у тісті з додаванням кербу – 68 у.о., що вказує на значне підвищення якості клейковини. Додавання кербу найбільш позитивно впливає на пружність клейковини серед усіх досліджених зразків. Це свідчить про те, що керб може сприяти зміцненню клейковинної сітки, роблячи тісто більш пружним та еластичним. Він позитивно впливає на щільність, гладкість і водопоглинальну тіста (змінюючи спосіб гідратації клейковинних білків), що може бути бажаним для певних видів випічки.

Таким чином, результати показують, що додавання різних інгредієнтів по-різному впливає на пружність клейковини тіста. Зразок з пшеничними висівками має найменшу пружність, що може свідчити про погіршення структури тіста. Зразок з льоном демонструє покращення якості клейковини, що може позитивно вплинути на текстуру кінцевого продукту. Найвища пружність клейковини спостерігається у зразку з кербом, що вказує на найбільше покращення структури тіста серед усіх досліджених зразків.

Мікроскопічні дослідження дозволяють отримати детальну інформацію про структуру та склад тіста після випічки, що може бути пізнавальним для покращення технологічного процесу виробництва та якості готової продукції. Фото мікроскопічних досліджень представлено на рисунку 3.

За результати мікроскопічних досліджень коржа з пшеничними висівками (рис. 3, а) спостерігаються жовтуваті та білуваті області, які є ділянками скупчення висівків або інших інгредієнтів. Пшеничні висівки добре розподілені по всій структурі коржа, що забезпечує його зернисту текстуру та підвищений вміст клітковини. Наявність дрібних частинок висівків додає коржу особливий смак і підвищену харчову цінність. Видимі частинки клейковини, які з'єднують інгредієнти, забезпечують цілісність і стабільність структури коржа. Наявність пшеничних висівків збільшує кількість зв'язуючих волокон, що робить корж більш щільним.

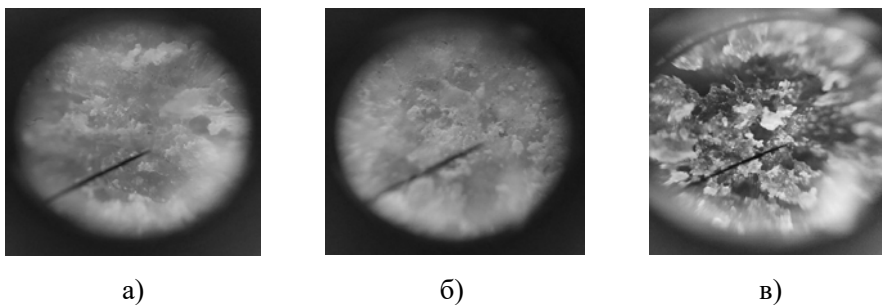


Рис. 3. Фото мікроскопічних досліджень (збільшено у 100 разів) випечених напівфабрикатів з використанням інноваційної сировини:

а) корж з пшеничними висівками; б) корж з льоном; в) корж з кербом

На фото мікроскопії коржа з кербом (рис. 3, в) можна побачити щільну та зернисту структуру, яка свідчить про використання щільних та дисперсних інгредієнтів, таких, як керб. Відсутність великих пор свідчить про меншу повітряність порівняно з іншими видами коржів, що робить текстуру більш компактною. Зернистість та шорсткість поверхні надають коржу характерний вигляд і текстуру. Колір під мікроскопом змінюється від темно-коричневого до світлішого коричневого, що відображає рівномірне розподілення кербу та інших інгредієнтів у тісті. Видимі частинки клейковини, що забезпечують зв'язок між інгредієнтами, надаючи коржу цілісність і форму. Відсутність великих повітряних пор свідчить про щільну текстуру тіста.

Мікроскопія коржа з льоном (рис. 3, б): корж має пористу, нерівномірну структуру, що вказує на його повітряність та легкість. Видимі дрібні та великі пори, утворені під час випікання, забезпечують текстуру, яка сприяє хорошій абсорбції рідких компонентів, таких як соус або крем. Поверхня коржа виглядає зернистою та шорсткою, з помітними крупинками та волокнами льону. Зернистість забезпечує додаткову текстуру, що додає приємний хруст під час їжі. Колір під мікроскопом змінюється від світло-золотистого до темно-коричневого, залежно від ступеня просмажування та розташування окремих частинок льону. Льон чітко виділяється завдяки своїй волокнистій структурі та більш насиченому кольору. Також можна побачити краплинки жиру та інші частинки інгредієнтів, що надають коржу додаткового смаку та поживних властивостей. Видимі частинки клейковини, що забезпечують зв'язок між іншими інгредієнтами, надаючи коржу його структуру та форму.

За допомогою рН-метра виміряли концентрацію водних іонів H^+ (активну кислотність) у розчині дослідних зразків з тіста, що відображається на шкалі рН-метра (рис. 4).

Отримані дані (рис. 4) свідчать про те, що додавання різних інгредієнтів впливає на рівень активної кислотності випеченого напівфабрикату. Найбільший вплив на підкислення середовища має додавання льону, що може впливати на смакові властивості та мікробіологічну стабільність кінцевого продукту. Зразок з пшеничними висівками має кислотність, близьку до нейтральної, що вказує на мінімальний вплив висівок на рН. Зразок з кербом також показує підкислення середовища, проте менш виражене, ніж у випадку з льоном.

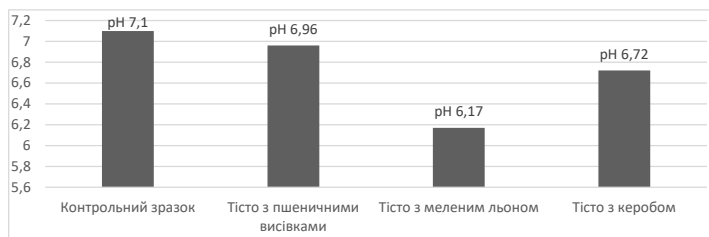


Рис. 4. Активна кислотність (величина pH) тіста шуликів

Органолептичний контроль (табл. 1) дає можливість пізнати та зрозуміти, що контрольний зразок, порівняно з інноваційними, відокремлюється по всім параметрам. Зовнішній вигляд інноваційних зразків є більш привабливий для сучасного споживача, смакові та ароматичні якості – цікавіші та різноманітніші. Тому порівнюючи можна зробити висновок, що інноваційні вироби, краще сприйматимуться споживачами, як за зовнішнім виглядом так і за цікавістю та поєднанням смаків.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика показників харчової цінності
контрольного та інноваційних шуликів**

Найменування зразків	Харчова цінність, г/100 г			Енергетична цінність, ккал
	Білків	Жирів	Вуглеводів	
Контроль (пшеничне борошно)	7,73	3,22	52,77	271
Зразок 1 (льон)	10,03	24,56	34,96	401
Зразок 2 (пшеничні висівки)	7,27	12,15	28	250
Зразок 3 (керб)	10,35	9,11	28,39	237

Прораховано харчову цінність контрольного та інноваційних зразків шуликів (таблиця 1). Таким чином, кожен з інноваційних зразків має свої унікальні харчові переваги. Додавання льону значно підвищує енергетичну цінність та вміст білків і жирів, що робить продукт більш калорійним і потенційно більш насиченим; пшеничні висівки забезпечують більш збалансоване співвідношення жирів і вуглеводів, цей зразок є менш калорійним, але більш збалансованим за вмістом макроелементів; а керб робить продукт більш білковим і менш калорійним. Ці інноваційні шулики можуть задовольнити різні дієтичні потреби та вподобання споживачів, розширюючи можливості для використання автентичних українських кондитерських виробів у сучасних умовах.

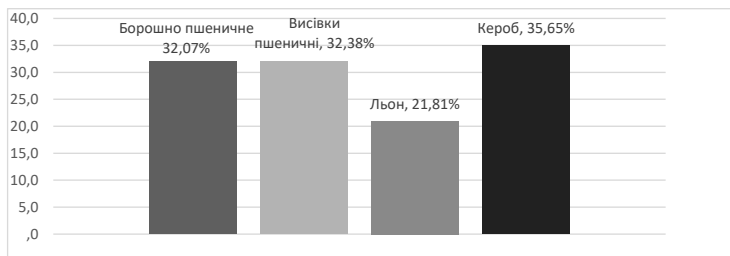


Рис. 5. Масова частка вологи випечених шуликів, %

Метод визначення масової частки вологи випеченого напівфабрикату – коржів був здійснений за допомогою приладу Чижової, який полягає в зважуванні зразків до та після висушування до постійної маси впродовж 5 хвилин за температури 160°C (рис. 5).



Рис. 6. Профілограма органолептичної оцінки кондитерських виробів з інноваційною сировиною порівняно з контролем

Отримані дані свідчать про те, що додавання різних інгредієнтів впливає на вологість кінцевого продукту. Шулики з льоном мають найнижчий вміст вологи, що може покращувати їх зберігання та хрусткість. Навпаки, шулики з кербом мають найвищий вміст вологи, що може зробити їх більш м'якими та приємними на смак. Шулики з пшеничними висівками мають вміст вологи, близький до контрольного зразка, що свідчить про мінімальний вплив висівок на цей показник.

Здійснено органолептичну оцінку інноваційних зразків, порівнюючи з контролем, яка оцінена за 10-ти бальною шкалою. Результати органолептичної оцінки наведені на рис. 6.



а) «Шулики» (традиційна рецептура, контрольний зразок)



б) «Шулики з пшеничними висівками»



в) «Шулики з меленим льоном»



г) «Шулики з кербом»

Рис. 7. Світлини подачі шуликів

Отже, згідно з органолептичними оцінками, «Шулики з кербом» (рис. 7) отримали найвищі бали за декількома параметрами і мають найвищу середню оцінку, що свідчить про їхню найкращу загальну якість серед розглянутих зразків. «Шулики з льоном» теж показали дуже високі результати, слідуючи за ними. Контрольний зразок, хоча і має гарні показники, поступається іншим зразкам в середньому на 0,4 бали.

Висновки. Вдосконалення та адаптація традиційних українських кондитерських виробів до сучасних вимог споживачів є важливим завданням. Аналіз історії та розвитку українських кондитерських виробів, зокрема шуликів, дозволило виявити їхню унікальність та важливість у культурній спадщині України. Розроблено нові рецептури шуликів, що відповідають сучасним вимогам якості та смаку. Додавання таких інгредієнтів, як керб, мелений льон та пшеничні висівки, дозволило збагатити вироби поживними речовинами та покращити їх органолептичні властивості. Розробка нових технологій та рецептур сприятиме популяризації традиційних українських десертів серед сучасних споживачів. Це допоможе підвищити інтерес до національної кулінарної спадщини та впровадження автентичних страв у меню сучасних закладів громадського харчування. Використання сучасних інгредієнтів та методів дозволяє не лише зберегти автентичність стародавніх рецептів, але й зробити їх більш привабливими для сучасних споживачів. Це сприятиме популяризації української культури та кулінарії, збагаченню асортименту національних страв та підвищенню їх конкурентоспроможності на ринку.

Інтеграція традиційних технологій з новітніми методами може привести до створення продуктів, які поєднують у собі автентичність та інновації, сприяючи розвитку національної гастрономічної культури та підвищенню якості життя громадян.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Україна. Їжа та історія / О. Браиченко та ін. Київ: Іжак, 2021. 286 с.
2. Котляревський І.П. Енеїда. К.: ВООКСНЕФ, 2021. 304 с.
3. Артюх Л.Ф. Традиційна українська кухня в народному календарі. Київ: Балтія-Друк, 2006. 232 с.
4. Страви української кухні: зб. розкладок і технологія приготування страв укр. кухні для п-в громад. харчування / ред. В. П. Запорожець, Київ: видавництво торгівлі УРСР. Київ: Держвидав техн. л-ри України, 1951, 205 с.
5. Клиновецька З. (1991). *Страви й напитки на Україні*. Київ: Час (репринт – 5Київ – Львів, 1913 р.).
6. Шулики: обрядова страва з еротичним підтекстом. (n.d.). Взято з <https://history.sumy.ua/research/article/8885-shulyky-obriadova-strava-z-erotychnym-pidtekstom.html> (дата звернення 17.11.2024).
7. Клевцов К. М. Фізико-технологічні властивості і хімічний склад насіння льону та конопель. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2015 (№ 4). С. 104-110.
8. Коваль О.А., Скрипка Я.І. Насіння льону – найбагатше джерело біологічно активних речовин. *Молодий вчений*, 2017 (№11). С. 35-37.
9. Данилюк І., Струтинська Л. Новітні технології хлібобулочних виробів підвищеної харчової цінності. *Collection of scientific papers «SCIENTIA» January 20, 2023p*, Amsterdam, Netherlands 2023 p. С. 113-117.
10. Що таке висівки: користь і шкода. (n.d.). Взято з <https://vansiton.ua/ua/blog/chto-takoe-otrub-i-polza-i-vred>. (дата звернення 19.11.2024).
11. Що таке керб, чим корисний цей суперфуд і як його готувати. (2020). Взято з <https://www.depo.ua/ukr/life/shcho-take-kerob-chim-korisniy-tsey-superfud-i-yak-yogo-gotuvati-202011171240544>. (дата звернення 20.10.2024).

REFERENCES:

1. Braichenko O., Hrymych M., Lylo I. & Reznichenko V. (2021) *Ukraina. Yizha ta istoriia*. Kyiv: Izhak [in Ukrainian].
2. Kotliarevskyi I.P. (2021) *Eneida*. Kyiv: BOOKCHEF [in Ukrainian].
3. Artiukh L.F. (2006) *Tradytsiina ukrainska kukhnia v narodnomu kalendari*. Kyiv: Baltiia-Druk [in Ukrainian].
4. Zaporozhets, V. P. (Eds.). (1951) *Stravy ukrainskoi kukhni: zb. rozkladok i tekhnolohiia pryhotovliannia strav ukr. kukhni dlia p-v hromad. Kharchuvannia*. Kyiv: Derzhvydav tekhn. l-ry Ukrainy [in Ukrainian].
5. Klynovetska Z. (1991). *Stravy y napytky na Ukraini*. Kyiv: Chas (reprint –5Kyiv –Lviv, 1913 r.).
6. .Shulyky: obriadova strava z erotychnym pidtekstom. (n.d.). <https://history.sumy.ua/research/article/8885-shulyky-obriadova-strava-z-erotychnym-pidtekstom.html> [in Ukrainian].
7. Klevtsov K. M. (2015) *Fizyko-tekhnolohichni vlastyivosti i khimichni sklad nasinnia lonu ta konopel* [Physico-technological properties and chemical composition of flax and hemp seeds]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 4, 104-110 [in Ukrainian].
8. Koval O.A., & Skrypka Ya.I. (2017) *Nasinnia lonu – naibahatshe dzherelo biolohichno aktyvnykh rechovyh* [Flax seeds are the richest source of biologically active substances]. *Molodyi vchenyi*, 11, 35-37 [in Ukrainian].
9. Danyliuk I., Strutynska L. (2023) *Novitni tekhnolohii khlibobulochnykh vyrobiv pidvyshchenoi kharchovoi tsinnosti* [The latest technologies for bakery products with increased nutritional value.]. *Collection of scientific papers «SCIENTIA» January 20, 2023 Amsterdam*, pp. 113-117 [in Netherlands].
10. Shcho take vysivky: koryst i shkada. (n.d.). Vziato z <https://vansiton.ua/ua/blog/chto-takoe-otrubi-polza-i-vred> [in Ukrainian].
11. Shcho take kerob, chym korysnyi tsei superfud i yak yoho hotuvaty. (2020). Vziato z <https://www.depo.ua/ukr/life/shcho-take-kerob-chim-korisniy-tsey-superfud-i-yak-yogo-gotuvati-202011171240544> [in Ukrainian].

УДК 664.346

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.23>

ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКА ІЗ МОРКВИ СТОЛОВОЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХЛІБА

Приліпко Т. М. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації
харчових продуктів Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»
ORCID ID: 0000-0002-8178-207X

Косташ В. Б. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації
харчових продуктів Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»
ORCID ID: 0000-0002-2182-7723

Ткач Л. В. – кандидат педагогічних наук,
асистент кафедри харчових технологій виробництва й стандартизації
харчових продуктів Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»
ORCID ID: 0000-0002-8239-2700

Проводилось дослідження з визначення впливу порошку з моркви столової сушеної на якість хліба з борошна пшеничного вищого гатунку. Хліб із борошна пшеничного хлібопекарського вищого гатунку без додавання порошку з моркви столової сушеної характеризувався рівною поверхнею та середньо – середньоопуклою формою кірки, колір кірки – світло-коричневий. Форма кірки у хліба з борошна пшеничного вищого гатунку без застосування та із застосуванням порошку з моркви столової сушеної у кількості 2 та 4% від маси борошна була середньо-випукла (4 бали), а у хліба з вмістом 6, 8 та 10% порошку з моркви столової сушеної – опукла (5 балів). Поверхня кірки хліба з борошна пшеничного вищого гатунку виробленого без додавання порошку з моркви столової сушеної та із застосуванням даної добавки у кількості 2% від маси борошна була рівною. Хліб, вироблений з додаванням порошку з столової моркви сушеної в кількості 4, 6, 8 і 10% від маси борошна мав гладку поверхню кірки. Колір кірки за варіантами дослідів залежно від застосування кількості порошку з моркви столової сушеної змінювався від світло-коричневого (4 бали) до коричневого з рум'яним відтінком у хліба з борошна пшеничного вищого гатунку із застосуванням порошку з столової моркви сушеної в кількості 6, 8 та 10% від маси борошна (5 балів). Застосування порошку з моркви столової сушеної мало істотний вплив на характеристику м'якшії хліба з борошна пшеничного хлібопекарського вищого гатунку. Так, хліб, випечений із борошна пшеничного вищого гатунку мав білий колір м'якшії (5 балів). Хліб із борошна пшеничного хлібопекарського з додаванням 2 і 4% порошку з моркви столової сушеної мав білий з жовтуватим відтінком колір м'якшії (5 балів). При збільшенні добавки, що вноситься до 6 ... 10% готовий продукт набував колір від жовтуватого (5 балів) до помаранчевого (4 бали). Кислотність хліба з борошна пшеничного хлібопекарського знаходилася в межах норми та за варіантами дослідів становила 2,4...3 градуси. Рекомендовано при виробництві хліба застосовувати порошок з моркви. Ідальні сушеної у кількості 4...8% від маси борошна при безопарному способі тістознавства.

Ключові слова: хліб, порошок, морква сушена, борошно пшеничне, якість.

Prylipko T. M., Kostash V. B., Tkach L. V. Use of carrot powder in bread production

A study was conducted to determine the effect of dried carrot powder on the quality of bread made from premium wheat flour. Bread made from premium wheat flour without the addition of dried carrot powder was characterized by a flat surface and a medium-medium convex crust shape, the crust color was light brown. The crust shape of bread made from premium wheat flour without the use of dried carrot powder in an amount of 2 and 4% of the flour mass was medium-convex (4 points), and bread with a content of 6, 8 and 10% of dried carrot powder was convex (5 points). The crust surface of bread made from premium wheat flour produced without the addition of dried carrot powder and with the use of this additive in an amount of 2% of the

flour mass was flat. Bread made with the addition of dried table carrot powder in the amount of 4, 6, 8 and 10% of the flour mass had a smooth crust surface. The crust color according to the experiment variants, depending on the amount of dried table carrot powder used, changed from light brown (4 points) to brown with a ruddy tint in bread made from premium wheat flour with the use of dried table carrot powder in the amount of 6, 8 and 10% of the flour mass (5 points). The use of dried table carrot powder had a significant effect on the crumb characteristics of bread made from premium wheat flour. Thus, bread baked from premium wheat flour had a white crumb color (5 points). Bread made from wheat flour with the addition of 2 and 4% of dried carrot powder had a white with a yellowish tinge, softer color (5 points). When the additive added to 6 ... 10% was increased, the finished product acquired a color from yellowish (5 points) to orange (4 points). The acidity of bread made from wheat flour was within the normal range and according to the experiment options was 2.4 ... 3 degrees. It is recommended to use dried carrot powder in the production of bread in the amount of 4 ... 8% of the flour mass with a non-mixed dough method.

Key words: bread, powder, dried carrots, wheat flour, quality.

Постановка проблеми. Хліб завжди був символом життя – і основним продуктом харчування. Але є його у вигляді звичайних смажених коржів швидко набридло. Хлібне тісто почали збагачувати. Спочатку його намагалися просто ароматизувати – додаючи різноманітні трави, насіння, олії та фрукти з приємним запахом. Поекспериментувавши з ароматом і смаком, взяли за хлібну сутність: за допомогою різних добавок спробували зробити його максимально корисним [3, с. 32, 5, с. 186].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У різних країнах споживання хліба становить 90–400 грамів на добу, або 32–146 кілограмів на рік, залежно від економічних факторів, характеру роботи, національних особливостей. Сьогодні ринок хліба і хлібобулочних виробів наповнений продукцією від різних виробників та в широкому асортименті. Розвиток хлібопекарської справи в 21 столітті базується на впровадженні нових технологій та обладнання [6, с. 3].

Одним із напрямів профілактики захворювань, пов'язаних з дефіцитом макро- та мікронутрієнтів, є збагачення продуктів харчування масового споживання вітамінами та мікронутрієнтами [8, с. 185].

При виробництві хліба лікувально-профілактичного призначення високої якості з борошна пшеничного вищого ґатунку рекомендується застосовувати харчову білкову добавку на основі борошна із зерна пшениці м'якої, ячменю та проса збагаченого міцелієм печериці двоспорової, при цьому замінюючи муку. 3%. Застосування цієї добавки сприяє підвищенню вмісту білка в готовому продукті. Приготовлений у такий спосіб хліб має приємний смак та аромат, нормальний об'єм та пористість. Харчова білкова добавка на основі борошна із зерна пшениці м'якої, ячменю та проса збагаченого міцелієм печериці двоспорової проста в застосуванні [1, с. 147].

Сушка овочів – це найлегший спосіб збереження вітамінів, мікроелементів і всіх корисних властивостей, а також натурального кольору, смаку і запаху вирощених овочів. Морквяний порошок виготовляють із моркви столових сортів, що мають невелике серцевину та темно-помаранчеве забарвлення. Морква багата каротином, який в організмі перетворюється на вітамін А, до речі засвоєння каротину буде вищим, якщо її заправляти рослинними оліями [4, с. 123].

Актуальність роботи полягає у пошуку компонентів хліба, які б визначали його лікувально-профілактичне призначення та розширили асортимент хліба. Вивчення особливостей внесення порошку з моркви ідальні сушеної при виробництві хліба з борошна пшеничного вищого ґатунку має практичний інтерес, та експериментальні дослідження щодо впливу цієї добавки на якість різних видів

хлібобулочних виробів має виробниче значення. Поки що такий хліб мало представлений на полицях магазинів, але хлібний ринок зростає та розвивається. І майбутнє саме за корисними та цінними хлібами [2, с. 60, 7, с. 438].

Постановка завдання. Мета роботи – визначити вплив порошку з моркви столової сушеної на якість хліба з борошна пшеничного вищого гатунку. Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

- Вивчити можливості застосування порошку з моркви їдальної сушеною при виробництві хліба;
- визначити якість борошна пшеничного вищого гатунку та порошку з моркви столової сушеної;
- визначити вплив порошку з моркви столової сушеної на органолептичні та фізико-хімічні показники якості хліба з борошна пшеничного вищого гатунку;
- розробити технологію виробництва хліба з борошна пшеничного вищого гатунку із застосуванням порошку з моркви їдальної сушеною.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження щодо визначення впливу порошку з моркви столової сушеної на якість хліба з борошна пшеничного вищого гатунку проводилися в умовах кафедри харчових технологій виробництва та стандартизації харчових продуктів за загальноприйнятими методиками [9, с. 30].

У дослідах використовувався безопарний спосіб виробництва хліба з борошна пшеничного хлібопекарського вищого гатунку, температура води при замісі становила 350С. Після замісу тісто поміщали у фарфорову чашку і ставили термостат на бродіння при температурі 320С на 60 хвилин. Далі здійснювали обминку тістових заготовок, потім ставили на попереднє вистоювання тривалістю 60 хвилин при температурі 32°С. Після попереднього вистоювання тісто інтенсивно обминали вручну, округляли і викладали в змащені олією форми. Остаточне вистоювання проводили в термостаті при температурі 320С протягом 50 хвилин. Випічка проводилася на лабораторній хлібопекарській печі РЗ – ХЛП протягом 8...12 хвилин при температурі 220...2400С. За результатами пробної випічки було обрано найкращі варіанти хліба з борошна пшеничного вищого гатунку із застосуванням порошку з моркви їдальної сушеною. Порошок з моркви столової сушеної вносили у кількості 2, 4, 6, 8 та 10% від маси борошна.

Зовнішній вигляд хліба з борошна пшеничного вищого гатунку із застосуванням порошку з моркви столової сушеної залежно від кількості добавки, що

Таблиця 1

Показники якості порошку із моркви столової сушеної

Найменування показника	Значення показника
Зовнішній вигляд та консистенція	Однорідна сипуча маса, не розчинна у воді
Смак та запах	Типовий для цього виду сировини, без стороннього присмаку та запаху
Колір	Помаранчевий
Масова частка сирого протеїну, %	0,55
Масова частка сирової клітковини, %	1,68
Масова частка сирого жиру, %	0,022
Масова частка цукру, %	9,92
Гігровлага, %	8,59

застосовується, за варіантами досвіду дещо відрізнявся. Хліб із борошна пшеничного хлібопекарського вищого гатунку без додавання порошку з моркви столової сушеної характеризувався рівною поверхнею та середньо – середньоопуклою формою кірки, колір кірки – світло-коричневий.

Форма кірки у хліба з борошна пшеничного вищого гатунку без застосування та із застосуванням порошку з моркви столової сушеної у кількості 2 та 4% від маси борошна була середньо-випукла (4 бали), а у хліба з вмістом 6, 8 та 10% порошку з моркви столової сушеної – опукла (5 балів). Поверхня кірки хліба з борошна пшеничного вищого гатунку виробленого без додавання порошку з моркви столової сушеної та із застосуванням даної добавки у кількості 2% від маси борошна була рівною. Хліб, вироблений з додаванням порошку з столової моркви сушеної в кількості 4, 6, 8 і 10% від маси борошна мав гладку поверхню кірки. Колір кірки за варіантами досліду залежно від застосування кількості порошку з моркви столової сушеної змінювався від світло-коричневого (4 бали) до коричневого з рум'яним відтінком у хліба з борошна пшеничного вищого гатунку із застосуванням порошку з столової моркви сушеною в кількості 6, 8 та 10% від маси борошна (5 балів).

Таким чином, при збільшенні кількості порошку, що вноситься з моркви столової сушеної колір кірки за варіантами досвіду набував коричневий колір з рум'яним відтінком. Застосування порошку з моркви столової сушеної мало істотний вплив на характеристику м'якучі хліба з борошна пшеничного хлібопекарського вищого гатунку. Так, хліб, випечений із борошна пшеничного вищого гатунку мав білий колір м'якуча (5 балів). Хліб із борошна пшеничного хлібопекарського з додаванням 2 і 4% порошку з моркви столової сушеної мав білий з жовтуватим відтінком колір м'якуча (5 балів). При збільшенні добавки, що вноситься до 6 ... 10% готовий продукт набував колір від жовтуватого (5 балів) до помаранчевого (4 бали).

Хліб з борошна пшеничного вищого гатунку як без застосування порошку з моркви столової сушеної, так і із застосуванням даної добавки в кількості 2, 4 та 6% від маси борошна мали дрібну, ажурну, рівномірну, тонкостінну структуру м'якуча (5 балів). А застосування порошку з моркви їдальні сушеної у кількості 6 і 8% від маси борошна спричинило утворення дрібної, тонкостінної, нерівномірної структури м'якуча (4 бали). Еластичність м'якучі хліба з борошна пшеничного хлібопекарського та хліба випеченого з додаванням 2, 4, 6 і 8% порошку з моркви столової сушеної від маси борошна пшеничного хлібопекарського була ніжною, шовковистою, при натисканні пальцем легко відновлює первісну структуру (5 балів). Готовий продукт з борошна пшеничного хлібопекарського з додаванням порошку з моркви столової сушеної в кількості 10% від маси основної сировини мав м'який ніжний м'якуч (4 бали).

Смак хліба з борошна пшеничного хлібопекарського та хліба випеченого з додаванням порошку з моркви столової сушеної у кількості 2% від маси борошна був нормальний, властивий даному виду хліба (5 балів). Хліб з борошна пшеничного хлібопекарського із застосуванням порошку з моркви столової сушеної у кількості 1,5 і 2,0% від маси борошна мали нормальний, властивий хлібу з віддаленим присмаком моркви (5 балів) та при збільшенні кількості застосовуваної добавки смак продукту був властивим для хліба із присмаком моркви (4 бали).

Середня хлібопекарська оцінка якості хліба з борошна пшеничного хлібопекарського становила 4,57 балів. Найбільшим середнім балом характеризувався хліб, випечений з борошна пшеничного хлібопекарського з додаванням порошку з моркви столової сушеної у кількості 4, 6 та 8% від маси борошна – 4,86; 4,86 та 4,71 балів відповідно. Об'ємний вихід хліба за варіантами досліду становив від

460 до 540 см³. Пористість хліба з борошна пшеничного хлібопекарського без застосування порошку з моркви столової сушеної становила 71,1%, пористість хліба з борошна пшеничного хлібопекарського із застосуванням порошку з моркви столовою сушеною збільшувалася на 1,8...7,8%. Кислотність хліба з борошна пшеничного хлібопекарського знаходилася в межах норми та за варіантами досліду становила 2,4...3 градуси.

Пропонована технологія виробництва хліба з борошна пшеничного хлібопекарського із застосуванням порошку з моркви столової сушеної складається з наступних етапів: прийом, зберігання та підготовка сировини до виробництва, приготування тіста з додаванням порошку з моркви столової сушеної 4...8% маси борошна. Попереднє вистоювання тістових заготовок, обробка та формування тіста на шматки, остаточне вистоювання тестових заготовок, випікання, охолодження та упаковка готових виробів.

Висновки. При виробництві хліба високої якості з борошна пшеничного хлібопекарського рекомендуємо застосовувати порошок з моркви їдальні сушеної в кількості 4...8% від маси борошна при безопарному способі тістознавства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Yushchenko, N. Development of natural spices compositions for fermented milk products. N. Yushchenko, I. Mikoliv, U. Kuzmik . *Food Science for Well-being (CEFood 2016) : 8th Central European Congress on Food 2016 : book of Abstracts*, 23-26 May 2016. NUFT, 2016. P. 147.
2. Арсеньєва, Л. Ю. Використання продуктів переробки сої для підвищення біологічної та харчової цінності хліба. *Харчові добавки, інгредієнти, БАДи : їх властивості та використання у виробництві продуктів та напоїв : науково-практична конференція*. 2003. С. 60-63.
3. Гордієнко Г. С. Науково-практичні підходи до розробки асортименту хлібобулочних виробів профілактичного призначення. *Харчові добавки. Харчування здорової та хворої людини: матеріали конф.* Донецьк: Дон НУЕТ, 2009. С. 32-35.
4. Дробот В. І. Шляхи розширення асортименту хлібобулочних виробів для хворих на діабет. 2011.
5. Дробот В. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ: Логос, 2002. 366 с.
6. Махінько, В. М. Дикорослі рослини – можливий шлях збалансування харчового раціону. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2011. № 5. С. 3-4.
7. Навольська Н. В. Дослідження ринку хліба і хлібобулочних виробів в Україні. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2016. С. 438-441
8. Пересічний М. І., Пересічна С. М., Пахомська О. В. Поживна цінність хлібобулочних виробів функціонального призначення. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2010. №. 38 (1). С. 185-189.
9. Радзієвська, І. Г. Сумішеві олії для здорового харчування. *Харчова промисловість*. 2013. № 14. С. 30-33.

REFERENCES:

1. Yushchenko, N. (2016). Development of natural spices compositions for fermented milk products. N. Yushchenko, I. Mikoliv, U. Kuzmik . *Food Science for Well-being (CEFood 2016) : 8th Central European Congress on Food 2016 : book of Abstracts*, 23-26 May 2016. NUFT, P. 147.
2. Arsenieva, L. Yu. (2003). Vykorystannia produktiv pererobky soi dlia pidvyshchennia biolohichnoi ta kharchovoi tsinnosti khliba. *Kharchovi dobavky, inhrediienty, BADy : yikh vlastyvosti ta vykorystannia u vyrobnytstvi produktiv ta napoiv : naukovo-praktychna konferentsiia*. S. 60-63.

3. Hordiienko H. S. (2009). Naukovo-praktychni pidkhody do rozrobky asorty mentu khlibobulochnykh vyrobiv profilaktychnoho pryznachennia. *Kharchovi dobavky. Kharchuvannia zdorovoi ta khvoroi liudyny: materialy konf. Donetsk: Don NUETS*. 32-35.
 4. Drobot V. I.. (2011). Shliakhy rozshyrennia asortymentu khlibobulochnykh vyrobiv dlia khvorykh na diabet.
 5. Drobot V. (2002). Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva. Kyiv: Lohos, 366 s.
 6. Makhynko, V. M. (2011). Dykorusli roslyny – mozhlyvyi shliakh zbalansuvannia kharchovoho ratsionu. *Khlibopekarska i kondyterska promyslovist Ukrainy*. № 5. S. 3-4.
 7. Navolska N. V. (2016). Doslidzhennia rynku khliba i khlibobulochnykh vyrobiv v Ukraini. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*. S. 438-441
 8. Peresichnyi M. I., Peresichna S. M., Pakhomska O. V. (2010). Pozhyvna tsinnist khlibobulochnykh vyrobiv funktsionalnogo pryznachennia. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii*. №. 38 (1). S. 185-189.
 9. Radziievska, I. H. (2013). Sumishevi olii dlia zdorovoho kharchuvannia. *Kharchova promyslovist*. № 14. S. 30-33.
-

УДК 637. 664. 333

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.24>

НАПРЯМИ СТВОРЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОДУКТІВ У СИРОРОБСТВІ

Соломон А. М. – кандидат технічних наук,
доцент кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій
Вінницького національного аграрного університету
ORCID ID: 0000-0003-2982-302X

Молоко та молочні продукти є невід'ємною складовою раціону кожної людини. Але останнім часом виробництво та реалізація даної продукції в Україні суттєво зменшується. Це спричиняється великою кількістю факторів: зменшенням поголів'я корів та сировинною проблемою, різким підвищенням цін на молоко та молочні продукти, відсутністю інвестицій. Також сьогодні існує проблема виходу вітчизняних підприємств на європейський ринок. Виробництво сиру – тривалий процес, який залежить не тільки від виробничих можливостей, а й від стану економічного розвитку країни.

Значну роль у раціональному харчуванні населення України набули високобілкові нетрадиційні харчові продукти на основі сої. За численними біохімічними і медичними даними вони є сприятливими для зміцнення здоров'я немовлят, дітей, дорослих, людей похилого віку, хворих з ослабленою імунною системою та іншою патологією. Адже вони знижують ризик виникнення ряду захворювань.

На думку науковців, саме такий ефект багато в чому залежить від методів переробки насіння сої на харчові продукти. Проте в роботах, присвячених дослідженню впливу вживання соєвих продуктів на стан здоров'я людини, майже немає даних про умови одержання таких продуктів. В Україні виробі із сої та добавок до харчових продуктів (молока, м'ясних, хлібобулочних, кондитерських виробів) представлено переважно продуктами з імпоротної сировини, шротів, борошна, білкових концентратів, виготовлених за технологіями, які значно зменшують вміст біологічно активних речовин відносно складу насіння сої. Виробництво напівфабрикатів і кормів у провідних країнах Заходу від початку базувалося на диференційованій переробці насіння сої для отримання олії, білкових ізолятів і концентратів, вітамінів, біологічно активних добавок з використанням багаторазових процесів обробки, обробки органічними розчинниками. Це призводить до руйнації частини біологічно активних речовин, до необхідності конструювати окремі види продуктів на основі соєвого білка додаванням жирів, вуглеводів, вітамінів, розчинної клітковини, ароматизаторів.

Ключові слова: комбіновані продукти, пробіотики, молочно – соєві продукти, м'які сири, біологічно активні речовини, функціональні продукти.

Solomon A. N. Directions of creation of combined products in cheese makers

Milk and dairy products are an integral part of every person's diet. But recently, the production and sale of these products in Ukraine has been significantly reduced. This is caused by a large number of factors: a decrease in the number of cows and a raw materials problem, a sharp increase in prices for milk and dairy products, and a lack of investment. Also today, there is a problem with the entry of domestic enterprises into the European market. Cheese production is a long process that depends not only on production capabilities, but also on the state of the country's economic development.

High-protein non-traditional soy-based food products have acquired a significant role in the rational nutrition of the population of Ukraine. According to numerous biochemical and medical data, they are beneficial for strengthening the health of infants, children, adults, the elderly, patients with weakened immune systems and other pathologies. After all, they reduce the risk of a number of diseases.

According to scientists, this effect largely depends on the methods of processing soybeans into food products. However, in works devoted to the study of the effect of soybean consumption on human health, there is almost no data on the conditions for obtaining such products. In Ukraine, soy products and food additives (milk, meat, bakery, confectionery) are represented mainly by products from imported raw materials, meals, flour, protein concentrates, manufactured using technologies that significantly reduce the content of biologically active substances relative to the composition of soybean seeds. The production of semi-finished products and feed in leading

Western countries was initially based on differentiated processing of soybean seeds to obtain vegetable oils, protein isolates and concentrates, vitamins, biologically active additives using multiple processing processes, processing with organic solvents. This leads to the destruction of some biologically active substances, to the need to design individual types of products based on soy protein by adding fats, carbohydrates, vitamins, soluble fiber, flavoring.

Key words: *combination products, probiotics, dairy soy products, soft cheeses, biologically active substances, functional products.*

Постановка проблеми. Раціональне харчування є важливою складовою здорового способу життя. Воно має забезпечувати організм людини всіма необхідними речовинами оптимальних співвідношеннях.

Проте, останніми роками у Україні спостерігається нестача споживання білків, як і кількісному, і у якісному відношенні, внаслідок недостатності у харчуванні людей білком тваринного походження [2].

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є пошук та використання нетрадиційних джерел білка, у тому числі рослинного походження, та розробка технологій комбінованих продуктів. Дуже перспективними щодо цього є соя і продукти її переробки. Вміст білка в сої коливається не більше 37–44%. Крім того, вона є джерелом необхідних організму поліненасичених жирних кислот, мінеральних речовин, вітамінів та клітковини.

Збагачення молочних продуктів соєвими білками добре відоме і досить поширене у світовій практиці. У зв'язку з цим не менш перспективними є рідкі продукти переробки цілісного соєвого насіння (соєве молоко).

На основі комбінування коров'ячого та соєвого молока створюються технології виробництва різних продуктів, у тому числі сирів [1].

У виробництві більшості сирів зазвичай застосовуються сичужне і кислотне згортання білків молока. Однак, не меншої уваги заслуговує високотемпературне згортання білків молока, засноване на спільній коагуляції всіх фракцій молочних білків при спільному впливі високої температури. При цьому збільшується вихід продукту, підвищується його біологічна цінність та виключається використання сичужного ферменту.

Таким чином, проведення досліджень з комплексного вивчення процесу виробництва м'яких низько жирних комбінованих сирів на основі знежиреного молока та соєвого компонента є досить актуальним завданням сьогодення.

Формування цілей статті. Метою даної роботи є дослідження наукових основ технології м'яких комбінованих сирів із суміші знежиреного коров'ячого молока та соєвого напою, що дасть змогу підвищити біологічну цінність, розширити асортимент продукції та залучити вітчизняну рослинну сировину.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні відбуваються значні зміни в науці про харчування та харчових технологіях. Це пов'язано з виникненням нового напрямку в харчовій промисловості, орієнтованим на виробництво функціональних продуктів харчування, які сприятливо впливають на здоров'я людини при їхньому регулярному вживанні в ефективних дозах. Крім поживних харчових речовин, вони містять функціональні інгредієнти, які здійснюють біологічно значимий позитивний вплив на організм людини, що допомагає адаптуватися до впливу зовнішнього середовища, запобігти виникненню захворювань і попередити передчасне старіння [3].

Сучасні підходи до здорового харчування вимагають, щоб нові комбіновані продукти були більш збалансовані за складом амінокислот, жирних кислот, мінералів та вітамінів у порівнянні з традиційними продуктами, а також володіли

корисними властивостями. Особливу увагу сьогодення привертають продукти, що поєднують молоко з рослинними компонентами, зокрема соєвим напоєм. При цьому важливим залишається завдання максимально зберегти споживчі характеристики традиційних аналогів [9].

Для цього проводили згортання соєвого напою, що має характеристики, представлені в таблиці 1 сироваткою 130–140°Т, при температурі зсідання 95°С. Як контроль служило знежирене молоко з характеристиками, наведеними в таблиці 2. Отримані згустки оцінювали за органолептичними та фізико-хімічними показниками, представленими в таблицях 3.3 та 3.4.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники соєвого напою

Показники	Значення показників
Масова частка, %:	
сухих речовин	6,7
білка	2,88
жиру	1,5
Кислотність титрована, Т	13,5
Щільність, кг/м ³	1012

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники знежиреного молока

Показники	Значення показників
Масова частка, %:	
сухих речовин	8,85
білка	0,05
жиру	3,2
лактози	4,8
Кислотність титрована, °Т	17,2
Щільність, кг/м ³	1030

Таблиця 3

Органолептичні показники згустків

	Показники			
	смак	запах	колір	консистенція
Згусток з соєвого молока	чистий, соєвий	чистий, соєвий	кремовий	м'яка
Згусток з знежиреного молока	чистий, молочний	чистий, молочний	білий	щільна

Таблиця 4

Основні фізико-хімічні показники згустків

	Масова частка вологи, %	Активна кислотність, рН
Згусток з соєвого молока	68,0	4,7
Згусток з знежиреного молока	64,0	5,6

Таким чином, встановлено, що соєві згустки мають малопривабливі для споживача органолептичні показники. Крім цього соєві згустки мають високу вологість та кислотність порівняно зі згустками із знежиреного молока.

У зв'язку з цим виникає питання про вивчення можливості отримання згустків із суміші знежиреного молока та соєвого напою та встановлення найбільш раціональних їх співвідношень [5].

Для визначення раціонального співвідношення знежиреного коров'ячого молока та соєвого напою при виробленні м'якого комбінованого сиру досліджували суміші з різним співвідношенням знежиреного молока та соєвого напою.

Згортання підготовлених сумішей проводили сироваткою, кислотність сироватки становила 140°Т при 95°С. Отримані згустки оцінювали насамперед за смаком, запахом, кольором та консистенцією.

Таким чином, узагальнюючи дані по органолептичних та фізико-хімічних показниках згустків, можна зробити висновок, що найкращим співвідношенням знежиреного молока та соєвого напою при виробленні м'якого комбінованого сиру є співвідношення 4:1. Тобто частка соєвого напою в суміші не повинна перевищувати 20% маси суміші.

Найбільше значення має температура згортання молочно-соєвої суміші. При підвищенні температури зсідання до 90°С вони досягають максимуму. Найбільше зростання виходу сиру в даному діапазоні температур спостерігалось у разі кислотності сироватки 110°Т – 15,08 %, а найменший 13,28%, при кислотності сироватки 150°Т.

При подальшому підвищенні температури згортання з 90°С до 95°С відбувається зниження виходу сиру та сухих речовин до 46,17%. Найбільше зниження спостерігається у разі кислотності сироватки 150°Т на 1,58%, а найменше на 0,98% при кислотності сироватки 110°Т.

Кислотність сироватки менш істотно впливає на вихід сиру по сухих речовин, ніж температура суміші.

Мінімальні значення виходу сиру зафіксовані при кислотності сироватки 110°Т. Як і у випадку виходу сиру по сухих речовин і температура згортання і кислотність сироватки істотно впливають на вміст води в сирі.

Кислотність сироватки також істотно впливає на масову частку води в сирі. Найбільше зниження масової частки води на 9,56% спостерігається за температури згортання 75°С найменше 2,96%, за нормальної температури згортання 90°С.

Однак більший вплив має температура згортання суміші. Найвищий вміст сухих речовин у сироватці спостерігається всім значень кислотності сироватки при 75°С. При підвищенні температури згортання з 75 до 90°С відбувається зниження масової частки сухих речовин у сироватці на 0,41%. При подальшому підвищенні температури зсідання до 95 °С спостерігається підвищення вмісту сухих речовин у сироватці на 0,08%.

Кислотність сироватки, що вноситься, також істотно впливає на досліджуваний критерій. Так, для всіх температур згортання суміші максимальний вміст сухих речовин у сироватці відзначено у разі кислотності сироватки, що вноситься 110°Т, а мінімальне при кислотності сироватки 140°Т. Консистенція білкових продуктів є споживчою категорією в оцінці якості продукту. Вона включає насамперед органолептичні властивості [10].

На формування консистенції м'яких комбінованих сирів впливають як температура згортання, так і кислотність сироватки, що вноситься.

Для всіх значень кислотності сироватки, що вноситься, зі збільшенням температури згортання з 75 до 90°С поліпшується і консистенція продукту. При подальшому збільшенні температури згортання до 95°С відбувається погіршення консистенції сирів.

На формування консистенції сирів істотно впливає і кислотність сироватки, що вноситься. Так, зі збільшенням кислотності сироватки, що вноситься, покращується і консистенція.

Для обґрунтування раціональних режимів вироблення м'яких комбінованих сирів враховували їх вплив на ефективність використання складових компонентів молочно-соевої суміші та якісні показники сиру

Відповідно до проведених досліджень кращого виходу продукту з сухих речовин і мінімального вмісту сухих речовин у сироватці можна досягти при температурі згортання 95°C та кислотності сироватки 130–140°Т.

Таким чином, найбільш сприятливими для отримання м'яких комбінованих сирів гарної якості та такими, що забезпечують більш повний перехід складових компонентів молочно-соевої суміші в продукт є такі умови:

– доза соєвого напою у суміші не більше 20%, температура коагуляції та обробка суміші 90°C; кислотність сироватки, що вноситься 140°Т.

Однак, при виробництві м'яких комбінованих сирів, крім правильно обраних режимів згортання сировини, величезну роль відіграють наступні технологічні операції, такі як соління сирів, внесення наповнювачів, формування, самопересування та зберігання сирів [7].

Соління відіграє важливу роль при виробництві сиру.

Головна мета надати продукту певного специфічного смаку і пікантності. В даному випадку було обране соління в зерні, тому що вона забезпечує рівномірний розподіл солі по всій масі комбінованого м'якого сиру без дозрівання.

У свою чергу, внесення наповнювачів дозволяє покращити органолептичні показники сирів на молочно-соевій основі, маскуючи притаманний їм соєвий присмак і запах, надати їм певного специфічного смаку і зробити їх більш привабливими для споживачів, а також розширити асортимент сирів, що випускаються [8].

У зв'язку з цим було проведено дослідження, щодо визначення дози внесення кухонної солі при виробництві м'яких комбінованих сирів.

Для цього суміш знежиреного молока та соєвого напою у співвідношенні 4:1 згортали при температурі 90° С кислою сироваткою, кислотність сироватки становила 140°Т або при температурі 95° С хлоридом кальцію. Зливали більшу частину сироватки та проводили соління у зерні. Доза кухонної солі коливалася від 1 до 2 кг на 100 кг суміші.

Аналізуючи експериментальні дані, з'ясували, що найкращі за смаком сири були отримані при дозі внесення кухонної солі 1,5 кг на 100 кг суміші. У разі внесення 1 кг солі на 100 кг суміші було отримано малосольні сири, а разі внесення 2 кг солі на 100 кг суміші надмірно солоні сири.

Змінювалася також консистенція сирів. Так, якщо при внесенні 1 або 1,5 кг солі на 100 кг суміші отримані згустки в міру щільної консистенції, то при внесенні 2 кг солі на 100 кг суміші згустки мали більш м'яку консистенцію.

При збільшенні дози солі, що вноситься, збільшується вміст вологи в сирах, дещо знижується значення рН, а вихід сиру по сухих речовин не змінюється.

Таким чином, доза солі, що вноситься, не повинна перевищувати 1,5 кг на 100 кг суміші.

Як смакові наповнювач був обраний кріп і були проведені дослідження щодо визначення дози їх внесення в м'які комбіновані сири.

Формування та самопересування сиру є важливими та невід'ємними частинами технологічного процесу виробництва м'якого сиру. Вони дозволяють надати йому необхідної форми, досягти оптимальної консистенції сиру та вмісту вологи в ньому.

Були досліджені сири, що виробляються із суміші знежиреного молока та соєвого напою у співвідношенні 4:1, як контрольний зразок був обраний сир, що виробляється з знежиреного коров'ячого молока.

Формування сиру проводять відразу після пресування сиру та видалення залишків сироватки у гарячому вигляді. Готове зерно розливають за формами і для кращого відділення сироватки і надання форми головкам, сирну масу формують і злегка утрамбовують. Через 10–15 хвилин головки сиру перевертають і знову трохи утрамбовують.

Для визначення раціональних режимів самопересування виробляли контрольні та дослідні сири та піддавали їх самопересуванню протягом 6 годин при температурі 17°C періодичному перевертанні. Протягом процесу контролювали такі показники, як вміст вологи у сирі, рН сирної маси та консистенцію сиру наприкінці самопересування [10].

Аналізуючи отримані дані можна дійти висновку, що переважна більшість сироватки видаляється у процесі формування і відразу після нього. У процесі самопересування зниження вмісту вологи в сирах становило близько 1%. При цьому практично не змінювалися значення рН сирної маси.

Слід зазначити, що, незважаючи на більш високий вміст вологи в контрольному зразку порівняно з дослідними, він мав щільнішу і крихку консистенцію. Комбіновані сири мали нижчий вміст вологи і, водночас, більш пластичну, м'яку консистенцію, що, можливо, пояснюється особливими властивостями соєвих білків.

Таким чином, час самопресування м'яких комбінованих сирів на молочно-соєвій основі в середньому становлять 5 годин. До кінця самопересування сири набувають необхідної форми, яке тісто стає досить монолітним.

При розробці технології цього виду сиру, сир вироблятиметься без дозрівання і реалізовуватиметься у свіжому вигляді.

У зв'язку з цим була перевірена можливість зберігання сирів протягом 12 діб при температурах $6\pm 2^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $80\pm 5\%$. Під час зберігання сирів спостерігали за зміною рН сиру та масової частки вологи в ньому, а також зміною його органолептичних показників.

При зберіганні комбінованих сирів при $6\pm 2^\circ\text{C}$ погіршення їх органолептичних показників відбувалося на 7 добу. Одночасно погіршенням органолептичних показників спостерігали зменшення значень рН.

Згідно з даними, патогенні мікроорганізми, БГКП та *St. aureus* були відсутні в обох зразках протягом 12 діб зберігання.

Таким чином, слід рекомендувати зберігати м'які комбіновані сири при температурі $6\pm 2^\circ\text{C}$ протягом 6 діб.

Досліджені сири, мають низьку жирність, що суттєво знижує їхню калорійність у порівнянні з традиційними [9].

На відміну від контрольного, дослідні сири містять у своєму складі такий важливий компонент харчування, як клітковина.

Клітковина, що відноситься до харчових волокон, створює сприятливі умови для просування їжі шлунково-кишковим трактом, нормалізує діяльність корисної кишкової мікрофлори, сприяє виведенню з організму холестерину. Недолік клітковини в дієті сприяє розвитку ожиріння, жовчнокам'яної хвороби, серцево-судинних захворювань, появи запорів, раку товстого кишечника та інших захворювань.

Однією з найважливіших складових якості харчових продуктів, у тому числі м'яких комбінованих сирів, є їхня мікробіологічна безпека.

Готові сири зберігають при температурі $6\pm 2^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $80\pm 5\%$ протягом 6 діб.

Органолептичні показники м'яких сирів оцінюють за наступною системою:

- смак та запах 15 балів
- консистенція 10 балів
- колір тесту 3 бали
- зовнішній вигляд 2 бали

Всього 30 балів.

Висновки. Однак, незважаючи на значний попит, асортимент таких продуктів ринок України недостатньо представлений. Тому, перспективним є розробка нових продуктів харчування зокрема м'яких комбінованих сирів із суміші знежиреного коров'ячого молока та соєвого напою, що дасть змогу підвищити біологічну цінність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с.
2. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я населення. *Продовольчі ресурси*. 2016 № 2. С. 204–214.
3. Semko T., Palamarchuk V., Ivanishcheva O., Vasylyshyna O., Andrusenko N., Kryzhak L., Pahomska O., Solomon A. The production of the innovative craft cheese «Anchan». *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2022. Vol. 16. P. 705-720.
4. Соломон А. М. Науково-практичні підходи до молочних продуктів функціонального призначення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. № 4. С. 181–191.
5. Соломон А.М., Даниленко С.Г., Бондар М.М., Сучасні тенденції виробництва сиру твердого із низькою температурою другого нагрівання. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10. № 18. С. 142–155.
6. Полєвода Ю.А., Соломон А.М., Бондар М.М. Модернізація обладнання для виробництва сирного продукту. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 1 (104). С. 124 – 131.
7. Скрипніченко Д. М. Визначення протеолітичної активності заквашувальних композицій для виробництва м'яких пробіотичних сирів. *Харчова наука і технологія*. 2015. № 2. С. 34–38.
8. Ткаченко Н. А. Обґрунтування параметрів ферментації молочної основи для виробництва м'яких пробіотичних сирів. *Науковий вісник ЛНУВМтаБ ім. С.З. Гжицького*. 2015. № 1(61). С. 107–116.
9. Semko T. Проблема рентабельності – виробництво м'яких сирів. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2015. Т. 17. №. 4. С. 126–129.
10. Сухенко Ю. Г., Поліщук Г. Є., Раманаускас Р. Й., Шингарева Т. І. Технологія сиру. Підручник. 2018. 412 с.

REFERENCES:

1. Bernyk I. M., Novgorodska N. V., Solomon A. M., Ovsienko S. M., Bondar M. M. (2022). *Innovatsiyni tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv*. [Innovative technologies of food production]. Monohrafiya. [Monograph]. Vinnytsia: Yu. V. Kushnir Publishing House. 300 p. [in Ukrainian].
2. Simakhina G. O., Naumenko N. V. (2016). *Kharchuvannya yak osnovnyy chynnyk zbezheniya stanu zdorov'ya naselennya*. [Nutrition as the main factor in maintaining the state of health of the population]. *Prodovol'chi resursy*. [Food resources]. № 2. S. 204-214 [in Ukrainian].

3. Semko T., Palamarchuk V., Ivanishcheva O., Vasylyshyna O., Andrusenko N., Kryzhak L., Pahomska O., Solomon A. (2022). The production of the innovative craft cheese «Anchan». [The production of the innovative craft cheese "Anchan"]. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. [Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences]. Vol. 16. P. 705–720.
4. Solomon A. M. (2023). Naukovo-praktychni pidkhody do molochnykh produktiv funtsional'noho pryznachennya. [Scientific and practical approaches to functional dairy products]. *Tavriys'kyi naukovy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky*. [Tavricheskiy Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences]. № 4. S. 181–191 [in Ukrainian].
5. Solomon A.M., Danylenko S.H., Bondar M.M. (2022). Suchasni tendentsiyi vyrobnytstva syru tverdoho iz nyz'koyu temperaturoyu drugoho nahrivannya. [Modern trends in the production of hard cheese with a low temperature of the second heating]. *Prodovol'chi resursy*. [Food resources]. T. 10. № 18. S. 142–155 [in Ukrainian].
6. Polyevoda YU.A., Solomon A.M., Bondar M.M. (2022). Modernizatsiya obladnannya dlya vyrobnytstva syrnoho produktu. [Modernization of equipment for the production of curd products]. *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. [Vibrations in technology and development]. № 1 (104). S. 124–131 [in Ukrainian].
7. Skrypnichenko, D. M. (2015). Vyznachennya proteolitychnoyi aktyvnosti zakvashuval'nykh kompozytsiy dlya vyrobnytstva m'yakyykh probiotychnykh syriv. [Determination of proteolytic activity of starter compositions for production of soft probiotic cheeses]. *Kharchova nauka i tekhnolohiya*. [Determination of proteolytic activity of starter compositions for production of soft probiotic cheeses]. № 2. S. 34–
8. Tkachenko, N. A. (2015). Obruntuvannya parametriv fermentatsiyi molochnoyi osnovy dlya vyrobnytstva m'yakyykh probiotychnykh syriv. [Justification of the parameters of fermentation of the milk base for the production of soft probiotic cheeses]. *Naukovy visnyk LNUVMtaB im. S.Z. Hzhys'koho*. [Scientific Bulletin of the LNUVMtAB named after S.Z. Gzhitsky]. № 1(61). S. 107–116 [in Ukrainian].
9. Semko T. (2015). Problema rentabel'nosti – vyrobnytstvo m'yakyykh syriv. [The problem of profitability – production of soft cheeses] *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. [Family Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies]. T. 17. №. 4. S. 126–129 [in Ukrainian].
10. Sukhenko YU. H., Polishchuk H. YE., Ramanauskas R. Y., Shynhareva T. I. *Tekhnolohiya syru*. [Cottage cheese technology]. *Pidruchnyk*. [Textbook]. 2018. 412 s. [in Ukrainian].

УДК 664.143

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.25>

ОЦІНКА БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АНТОЦΙΑНІВ ВИНОГРАДНОЇ СИРОВИНИ СОРТУ ОДЕСЬКИЙ ЧОРНИЙ

Сумська О. П. – кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0003-1606-6103
Scopus-Author ID: 57204470556
Researcher ID: 9121568126

Поліщук Б. С. – здобувач освіти
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID ID: 0009-0007-4341-6224

Іщенко О. В. – доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри промислової фармації
Київського національного університету технологій і дизайну
ORCID ID: 0000-0002-9510-6005
Scopus-Author ID: 57200013816
Researcher ID: GYV-0809-2022

Актуальною проблемою є забезпечення безпеки та функціональності харчової та косметичної продукції. Одним із перспективних шляхів її вирішення є розробка та використання безпечних натуральних харчових барвників. Ці сполуки, окрім надання продуктам забарвлення, є джерелами біологічно активних речовин, що зумовлює можливість формування функціональних властивостей кінцевих продуктів.

Метою даної роботи є оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів, екстрагованих з вичавок винограду сорту Одеський чорний.

Оцінка антоціанових барвників здійснювалася відповідно до вимог ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014.

Для ідентифікації антоціанів застосовано метод ІЧ-спектроскопії з використанням спектрофотометра IRTracer-100 (Shimadzu, Японія). Екстракт було піддано хроматографічному розділенню за допомогою системи Agilent 1200 Series HPLC–DAD. Ідентифікацію компонентів екстракту антоціанів проводили за допомогою Agilent 6500 Series Accurate-Mass Quadrupole Time-of-Flight (Q-TOF) LC/MS QLC/TOF MS. Дослідження антирадикальної активності антоціанів та комплексу антоціанів з аніонними полісахаридами проводили методом DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрилгідрозил). Досліджено залежність вмісту антоціанів у розчині від часу екстрагування при різних способах вилучення. Досліджено властивості антоціанового барвника, отриманого з вичавок винограду. Встановлено чітку математичну залежність вмісту антоціанів у розчині від часу екстрагування при різних способах його вилучення. Визначено, що екстракти антоціанів з вичавок винограду сорту Одеський чорний проявляють антирадикальну активність. Оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів, виділених із вичавок винограду сорту Одеський чорний, показала, що екстракти антоціанів можуть бути використані як барвники та джерела біологічно активних речовин у виробництві харчових продуктів і косметичних виробів.

Ключові слова: екстракти антоціанів, виноградні вичавки, Одеський чорний, натуральні барвники, біологічно активні сполуки.

Sumska O. P., Polishchuk B. S., Ishchenko O. V. Evaluation of the biotechnological potential of anthocyanins of grape raw material of the odesskiy chorny variety

One of the actual problems is ensuring the safety and functionality of food and cosmetic products. One of the promising ways to solve it is the development and use of safe natural food dyes. These compounds, in addition to giving products color, are sources of biologically active substances, which makes it possible to form functional properties of final products.

The purpose of this work is to assess the biotechnological potential of anthocyanins extracted from the pomace of the Odesa Black grapes.

The assessment of anthocyanin dyes was carried out in accordance with the requirements of DSTU-N CODEX STAN 192:2014.

To identify anthocyanins, the IR spectroscopy method was used using an IRTracer-100 spectrophotometer (Shimadzu, Japan). The extract was subjected to chromatographic separation using the Agilent 1200 Series HPLC–DAD system. Identification of anthocyanin extract components was performed using Agilent 6500 Series Accurate-Mass Quadrupole Time-of-Flight (Q-TOF) LC/MS QLC/TOF MS. The antiradical activity of anthocyanins and anthocyanin complexes with anionic polysaccharides was studied using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method. The dependence of the anthocyanin content in the solution on the extraction time was studied using different extraction methods. The properties of anthocyanin dye obtained from grape pomace were studied. A clear mathematical dependence of the anthocyanin content in the solution on the extraction time was established using different extraction methods. It was determined that anthocyanin extracts from the pomace of the Odesa Black grapes exhibit antiradical activity. Assessment of the biotechnological potential of anthocyanins isolated from the pomace of the Odesa Black grapes showed that anthocyanin extracts can be used as dyes and sources of biologically active substances in the production of food products and cosmetics.

Key words: anthocyanin extracts, grape pomace, Odesa Black, natural dyes, biologically active compounds.

Постановка проблеми. В умовах сучасного суспільства за рахунок традиційного харчування не вдається ліквідувати дефіцит нутрієнтів, необхідних для нормальної життєдіяльності людини. З метою корекції структури харчування населення в теперішній час харчова індустрія орієнтується на виробництво оздоровчих продуктів харчування та дієтичних добавок з вираженими фізіологічними ефектами.

Одним із шляхів вирішення проблеми виробництва безпечної та функціональної харчової продукції є створення та використання у технології виробництва продуктів харчування безпечних натуральних харчових барвників, які є флавоноїдами.

Крім сучасних продуктів харчування, і сучасна косметична продукція повинна надавати швидкий видимий ефект, мати привабливий зовнішній вигляд, а також містити у своєму складі біологічно активні речовини, бажано природного походження, які стимулюють обмінні процеси та репаративні функції шкіри.

Однією з найбільш численних груп рослинних метаболітів є флавоноїди. Окрім основної потужної антиоксидантної активності, ці сполуки демонструють широкий спектр біологічних функцій, зменшують захворювання, пов'язані з окислювальним стресом.

Збільшення інтересу виробників продуктів харчування і косметичних виробів до натуральних інгредієнтів пов'язано як з жорсткою регламентацією використання синтетичних сполук, так і з прагненням виробників надати продуктам статус натуральних, споживання яких постійно зростає.

У світі спостерігається тенденція збільшення попиту на червоні антоціанові пігменти, що мають біологічну активність, оскільки у своєму складі, крім барвників вони містять корисні біологічно активні речовини. Джерелами отримання натуральних червоних барвників антоціанової природи є рослини сировина. Однак склади кольорів на основі антоціанів мають деякі обмеження. Крім того, через їхню погану стабільність, не завжди легко їх застосовувати в промислових масштабах. Одним з найперспективніших джерел природних барвників є виноград, що містить кілька класів поліфенолів: антоціани, фенолокіслоти, флавоноли, лейкоанідини, катехіни та їх олігомери проантоціанідини, звані танінами.

Агрофірма «Білозерський» сьогодні – один з найбільших в Україні виробників продукції виноградарства. Теруарність Станіславської кручі, вологе повітря

Лиману та тепло південного сонця створюють унікальний мікроклімат для вирощування винограду.

Підприємство працює з Одеським інститутом виноградарства і виноробства ім. Таїрова, Мелітопольським інститутом зрошувального садівництва. Переймає іноземний досвід завдяки співробітництву з провідними компаніями Грузії, Італії, Польщі.

Одеський чорний або аліберне – український технічний сорт червоного винограду. Сорт був створений шляхом схрещування сортів Алікант Буше та Каберне Совіньйон у національному науковому центрі «Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є.Таїрова». Середня маса 100 ягід 140 г. Шкірочка міцна, м'якоть соковита. Сік інтенсивно забарвлений в рубіновий колір. Тому оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів виноградної сировини сорту одеський чорний, удосконалення технологій виділення антоціанів з рослинної сировини, їх стабілізація та можливість їх використання для створення екологічно безпечної функціональної харчової продукції є актуальним.

Антоціани – глікозиди, що належать до флавоноїдів. Невуглеводневі частини можуть бути представлені гідрокси– та метоксизаміщеними солями флавілію. У деяких антоціанів гідроксили ацетильовані. Інтенсивність та тип забарвлення, які дають антоціани, визначається будовою їх молекули, тобто кількістю гідроксильних та метоксильних груп. Чим більше в молекулі метоксильних груп, тим більше переважає червоне забарвлення, велика кількість гідроксильних груп у молекулі зумовлює темно-синє забарвлення.

Незважаючи на таку різноманітність структур, всі антоціани відбуваються приблизно від 30 різних антоціанідинів, більшість з яких є похідними 6 основних це пеларгонідин, ціанідин, дельфінідин, пеонідин, петунідин та малвідин. Дані антоціанідини переважають у різних органах рослин, особливо в квітках, плодах та бульбовій частині. Профілювання LC-MS виявило рутин, кемпферол, кверцетин та їх похідні як ключові флавоноїдні компоненти, поряд з ціанідином і дельфінідином як первинними антоціановими сполуками [1].

Від кількості гідроксильних груп у В-кільці антоціанідини виявляють різні кольорні відтінки. Вінілфенольні піраноантоціани зазвичай утворюються при конденсації вільних гідроксикоричних кислот і антоціанів під час ферментації та витримці червоного вина [2]. Їхня підвищена стабільність і стійкість до відбілювання SO_2 сприяли збільшенню попиту до цих другорядних продуктів, оскільки перетворення антоціанів на піраноантоціани призводить до поліпшення смакових якостей вин та підвищення їх антирадикальних властивостей [3].

У літературних джерелах є досить повний опис біосинтезу антоціанів [4]. Антоціани нестабільні та швидко руйнуються. Глікозилювання підвищує розчинність антоціанідинів у воді та їх структурну стабільність. Антоціани розчиняються у воді, у розведених кислотах, луках та спиртах (метанол, етанол) і нерозчинні в неполярних розчинниках [4, 5].

Під впливом кисню повітря, температури, прямих сонячних променів та ферментів антоціани окислюються з утворенням полімерних пігментів, проантоціанідинів та продуктів деградації [5]. При цьому відбувається поступове розкладання антоціанів на безбарвні та коричневі речовини [5, 6].

Стабільність антоціанів залежить від ряду факторів, таких як ферменти та супутні компоненти рослинного матриксу, концентрація антоціанідинів та їх структура, розчинник, рН, температура, кисень, світло, присутність металів [7].

Антоціани у водному середовищі піддаються оборотним структурним трансформаціям. У водному розчині при різних рН (від 1 до 8) антоціани можуть

утворювати п'ять форм, що взаємно перетворюються. Залежно від рН середовища антоціани, набуваючи різних кольорів, можуть виступати як рН-індикатори: червоні при низьких значеннях рН, синьо-фіолетові при нейтральних і слаболужних значеннях, і безбарвні при високих значеннях рН. Автори [8] виконали процес екстракції та очищення антоціану з виноградних вичавок за допомогою протонної іонної рідини. У цьому дослідженні твердо-рідка екстракція показала, що вибір найкращих умов процесу на основі селективності (співвідношення між концентрацією антоціанів і загальних фенольних сполук) дозволив збільшити коефіцієнт очищення до 2,21 раза ($S/L = 55$ мг. Мл -1 ; $[PIL] = 12,5\%$) і 16,36 разів ($S/L = 55$ мг.мл. -1 ; 35°C ; $[PIL] = 12,5\%$).

Мета роботи [9] полягала у дослідженні впливу рН і температури на біоактивність ціанідин-3-О- β -глюкозиду (C3G) і ультраефективної рідинної хроматографії з матрицею фотодіодів, іонізації з електророзпиленням, квадрупольної часопротітної мас-спектрометрії (UPLC-PDA-ESI-Q-TOF-MS) і теорія функціоналу густини (DFT) були використані для пояснення механізму структурної перетворення C3G, що впливає на їх біоактивність на молекулярному рівні. При значеннях рН від 3 до 6 відбувається швидка та практично повна гідратація катіону флавілію за положенням C2 з утворенням безбарвного карбінолу. Зрештою карбінол перетворюється на відкриту форму – халкон (теж безбарвний) і досягається хімічне рівновагу [9].

Тривалість нагрівання та температура суттєво впливає на стабільність антоціанів. Нагрівання розчинів антоціанів протягом 3 годин призводить до 50% їх втрати. У разі підвищення температури швидкість деградації антоціанів зростає. Високі температури (95°C понад 3 хв) призводять до втрати антоціанового барвника на 43%. При нагріванні до 50°C активізуються окисні ферменти, що викликають руйнування антоціанів. При подальшому підвищенні температури відбувається термічна деградація ферментів, що призводить до стабілізації антоціанових пігментів, термічна деградація антоціанів ще не відбувається [10].

Підвищення температури (вище 70°C) при рН 2,0–4,0 призводить до часткового гідролізу глікозидного зв'язку та втрати глікозидного залишку. На першій стадії термічного руйнування антоціанів вільний аглікон швидко знебарвлюється, переходячи у форму халкону. На кінцевому етапі термічного руйнування антоціанів утворюються коричневі продукти деградації, особливо у присутності кисню.

Зниження температури позитивно впливає на вміст антоціанових пігментів. Так зберігання плодів при температурі $0\text{--}15^\circ\text{C}$ призводить до невеликого збільшення їхньої кількості.

Доступ кисню сприяє руйнуванню антоціанів, особливо при значеннях рН більш 5,0. Негативна дія кисню проявляється у прямому чи непрямому окисненні, при якому окислені проміжні форми реагують з антоціанами, що веде до збільшення утворення безбарвних та коричневих продуктів деградації [10].

Утворення комплексів з катіонами металів також впливає на забарвлення. Комплекси антоціанів з іонами алюмінію, заліза, магнію, молібдену, вольфраму називають металоантоціанами. Як правило, взаємодія з одновалентними катіонами призводить до посилення червоного забарвлення, а з двовалентними – синім. Одновалентний катіон K^+ дає пурпурові комплекси з антоціанами, двовалентні Mg^{2+} і Ca^{2+} – сині, викликаючи окислення антоціанів [11].

Погана термічна та кислотна стабільність антоціанів значно обмежує їх промислове застосування як функціональних харчових інгредієнтів. У роботі [12] досліджували здатність продуктів реакції Майяра (MRP) ізолятів сироваткового білка та

глюкози підвищувати термічну стабільність антоціанів у діапазоні pH 2,0–7,0. Поліпшення стабільності кольору та антиоксидантної здатності дисперсій антоціанів вказує на те, що MRP помітно пригнічує деградацію антоціанів. Результати флуоресцентної спектроскопії свідчать про те, що антоціани та MRP утворюють комплекси через гідрофобні взаємодії. Ці комплекси ефективно послаблювали деградацію антоціанів під час термообробки при pH 6,0. Розміри частинок MRP окремо або в комплексі з антоціанами залишалися незмінними після нагрівання. Нова система доставки білка, запропонована в цьому дослідженні, розширює застосування антоціанів як кислото- та термостабільних функціональних харчових інгредієнтів [12].

В даний час все більший інтерес споживачі проявляють до харчової продукції, що має у своєму складі натуральні інгредієнти, включаючи барвники, які надають готовим продуктам привабливий вигляд, природний аромат, смак, додаткову харчову цінність, і в цілому сприймаються як здорові та безпечні, оскільки багато хто з них є нутрицевтиками. Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) з 2008 року переглянуло питання безпеки всіх синтетичних барвників і переглянуло значення ADI. Всі ці обставини вплинули на продовольчий сектор. Пошук альтернативних натуральних пігментів для заміни синтетичних барвників є актуальною тенденцією на ринку, особливо у преміальних продуктах харчування і в продукти, призначених для дітей [13]. Червоні та жовті барвники становлять приблизно близько 90% від загальної кількості барвників, що додаються до їжі.

Натуральні харчові барвники користуються попитом і стають все більш популярними серед споживачів у всьому світі; їхня безпека, функціональний та біологічний потенціал, вплив на здоров'я, а також загальний вплив у короткостроковій та довгостроковій перспективах все ще продовжують використовуватися, і було зазначено помітні переваги їх споживання. Порівняно з синтетичними барвниками, які сприймають небажані та шкідливі ефекти, натуральні барвники, як правило, сприймаються споживачами як безпечніші [14].

Тому існує великий інтерес до більшої доступності натуральних червоних барвників, які мають підвищену стабільність в харчових матрицях через обмеження їх синтетичних аналогів.

Аналіз наукових праць за напрямом досліджень дозволив сформулювати мету, задачі досліджень та методи їх реалізації.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів вичавок винограду сорту одеський чорний.

Об'єкти та методи дослідження. Об'єктами експериментальних досліджень була культивована виноградна сировина Білозерського району Херсонської області (рис. 1), а саме вичавки свіжих ягід винограду сорту Одеський чорний або аліберне (вторинні відходи переробки ягідної сировини).

Екстракти антоціанів, виділені з виноградних вичавок.

Оцінка антоціанових барвників проводилася за ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014 [16].

Висушені екстракти антоціанів та плівки на основі агар-агару з додаванням антоціанів аналізували методом ІЧ-спектроскопії з використанням спектрофотометра IRTracer-100 (Shimadzu, Японія).

Екстракт піддавали хроматографічному розділенню за допомогою системи Agilent 1200 Series HPLC–DAD, використовуючи колонку для хроматографії з оберненою фазою (Zorbax 300 Extended-C18, 4,6×150 мм, 5 мм). Для ідентифікації компонентів екстракту антоціанів використовували Agilent 6500 Series Accurate-Mass Quadrupole Time-of-Flight (Q-TOF) LC/MS QLC/TOF MS.



Рис. 1. Виноград – Одеський чорний або аліберне

Дослідження антирадикальної активності антоціанів та комплексу антоціанів та аніонних полісахаридів проводилися за методом DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрилгідразил) [17]. Метод заснований на взаємодії антиоксидантів із стабільним хромоген-радикалом. Стандартний розчин DPPH (5×10^{-4} М) в етанолі, підкисленому оцтовою кислотою, етанолом розводили у співвідношенні 1:10 для отримання робочого розчину. До 5 см³ робочого розчину DPPH додавали 50 см³ досліджуваних екстрактів, перемішували і реєстрували кінетику зменшення оптичної щільності розчину на спектрофотометрі «SHIMADZU UV-1800» (Японія) протягом 30 хв при довжині хвилі 517 нм. Як контрольний зразок використовували розчини Trolox (6-гідрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбонова кислота) в різній концентрації.

Виклад основного матеріалу. За літературними даними [15] було вивчено біохімічний склад цільної ягоди винограду та її окремих частин. Результати цього дослідження представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Біохімічний склад ягоди винограду [15]

Показники	М'якуш	Шкірка	Кісточки	Цілісні ягоди
Сухі речовини, %	12,0±0,18	17,0±0,94	64,2±0,98	24,44±0,17
Білок, мг/см'	2,50±0,05	6,44±0,03	26,8±0,04	11,73±0,03
Загальний азот, мг/см'	0,40±0,03	1,03±0,04	4,28±0,08	1,88±0,03
Титрована кислотність, %	9,90±0,12	14,35±0,16	5,2±0,01	9,50±0,12
Геміцелюлоза, %	85,0±1,52	6,00±0,09	11,3±0,10	19,23±0,15
Вітамін С, мг/100 г	15,0±0,15	5,00±0,15	2,39±0,18	1,76±0,14
Лігнін, %	Не виявлено	0,10±0,03	23,21±0,15	11,73±0,12
Редукуючі сахара, %	21,8±0,12	11,0±0,09	Сліди	15,35±0,09
Пектін, %	0,22±0,04	0,30±0,15	0,51±0,09	0,27±0,03
Флавоноїди, %	0,69±0,07	1,50±0,07	2,93±0,09	1,24±0,11
Антоціани, %	Сліди	1,10±0,08	0,83±0,05	0,76±0,04
Фенольні речовини в перерахунку на галову кислоту, мг/см ³	0,52±0,51	1,85±0,09	3,17±0,11	1,71±0,08

Звертаючи увагу на дані, наведені в табл. 1 і літературні дані з способів одержання антоціанів шляхом екстрагування їх із рослинної сировини екстрагентами різної хімічної природи було розроблено технологічну схему отримання концентрованого антоціанового барвника.

Залежність виходу антоціанів з вичавків винограду від температури екстрагування представлена на рис. 2.

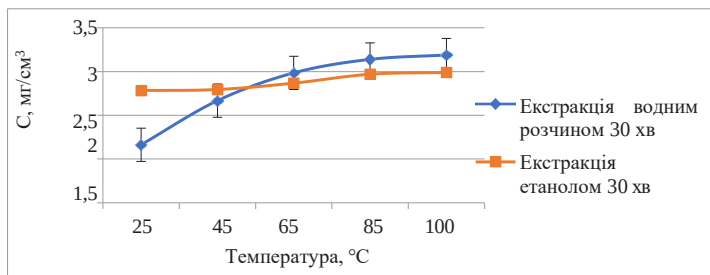


Рис. 2. Залежність виходу антоціанів з виноградних вичавок від температури екстрагування та методу виділення

З результатів, представлених на рис. 2 видно, що температура і метод екстрагування визначають вихід антоціанів з виноградної сировини. Вплив етанолу при температурі 25°C сприяє збільшенню виходу антоціанів. Їх вміст у екстракті зростає на 22%. Ймовірно, це пояснюється тим, що відбувається легший доступ розчинника до рослинної клітини.

Подальше підвищення температури екстрагування до 65–70 °C призводить до значного збільшення виходу антоціанів. При даній температурі кількість антоціанів, екстрагованих водним розчином, становить 2,99 мг/см³. Вихід пігменту, екстрагованого водним розчином при температурі 85–100°C, становить 3,14–3,19 мг/см³.

З метою визначення оптимальних умов виділення було вивчено залежність виходу антоціанів від часу екстрагування, оскільки тривалість екстракції може суттєво впливати на їх виділення.

Для наочного опису залежності виходу антоціанів були представлені результати у вигляді рівнянь, які ілюструють вплив способу вилучення, часу (x) та температури (y) екстрагування виділення антоціанів з виноградних вичавок. Рівняння регресії мають наступний вигляд:

а) $B_1 = 1,6549 + 0,0159x - 0,0086y + 0,0001x^2 - 0,0013xy + 0,0019y^2$

B_1 – вміст антоціанів в розчині при їх екстрагування водою, мг/см³.

б) $B_2 = 0,4541 - 0,0586x + 0,1949y - 0,0004x^2 + 0,0025xy - 0,0041y^2$,

B_2 – вміст антоціанів в розчині при екстрагуванні етанолом, мг/см³.

Оптимальними режимами для вилучення антоціанів є їх екстрагування етанолом при температурі 25°C протягом 30 хв, і вилучення водним розчином при температурі 70°C протягом 30 хв.

Регресійна статистика моделі наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Регресійна статистика

R-квадрат	0,957767781
Стандартна помилка	2,663454318
Спостереження	15

R-квадрат або коефіцієнт детермінації (показник якості моделі) означає, що розрахункові параметри моделі на 95,8% пояснюють залежність між параметрами, що вивчаються. В даному випадку коефіцієнт детермінації дорівнює 0,96, що може говорити про прийнятність моделі для конкретного завдання. Перевірка коефіцієнта регресії за критеріями Стюдента та Фішера представлені у табл. 3. Виведення коефіцієнтів регресії представлено у табл. 4.

Таблиця 3

Перевірка коефіцієнта регресії по критеріям Стюдента (SS) і Фішера (F)

	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	3	1769,699455	589,8998185	83,15488314	7,65078·10 ⁻⁸
Залишок	11	78,03387796	7,093988906		
Разом	14	1847,733333			

Таким чином, отримано чітку математичну залежність вмісту антоціанів у розчині при різних способах його вилучення від часу екстрагування. Отримані статистичні дані (табл. 3). вказують на те, що експериментальні значення близькі до прогнозованих.

Показано, що природна сировина півдня України може бути потужним джерелом для одержання антоціанів, які дедалі знаходять більше застосування у харчовій промисловості, фармакології та косметології. У шкірці винограду сорту – Одеський чорний або аліберне, який було вирощено на площах Агрофірми «Білозерський» в 2023 р., виявлено високий вміст антоціанів.

Виявлено, що етанол був ефективнішим, ніж вода, у відновленні антоціанів із виноградних вичавок.

Оскільки спосіб виділення визначає вихід біологічно активних речовин із рослинної сировини в розчин, у роботі був визначений вміст антоціанів, виділених з вичавки винограда при екстракції водою і етанолом. Результати представлено в табл.4 в процесі екстракції, при температурах 25 і 65°C протягом 5–30 хв.

З даних табл. 4 видно, що екстракція етанолом сприяє вилученню антоціанів з вичавків винограду. Вміст антоціанів, які перейшли в розчин за даних умов екстрагування. становить 1,32 і 1,48 мг/см³ відповідно. Отримані дані узгоджуються з роботою авторів [7], де також показано скорочення часу виділення антоціанів під час використання екстракції етанолом.

Отриманий методом концентрування антоціановий барвник має темно-червоний колір та запах винограду. Концентрований антоціановий барвник має густу сиропоподібну консистенцію.

Таблиця 4

Вміст антоціанів, виділених з вичавків винограду сорту Одеський чорний

Час екстрагування, Хв	Вміст антоціанів в вичавках винограду, мг/см ³	
	Екстракція водою	Екстракція етанолом
5	0,68±0,12	0,78±0,22
10	0,88±0,18	0,89±0,15
15	1,11±0,17	1,34±0,13
20	1,24±0,21	1,48±0,19
25	1,32±0,16	1,13±0,16
30	1,31±0,13	1,08±0,12

Концентрований антоціановий барвник рекомендується зберігати за температури 20 °С не більше 6 міс, або 0–5 °С не більше 12 міс в невідкритих ємностях.

УФ-спектри розчинів антоціанів, виділених із виноградних вичавок при температурах 25 і 65 °С протягом 30 хв представлені на рис. 3.

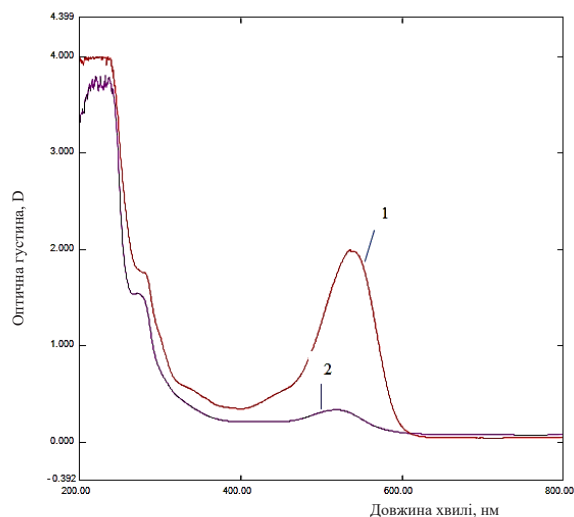


Рис. 3. УФ-спектри розчинів антоціанів, виділених з виноградних вичавок при температурах : 1–25°C та 2–65°C

З отриманих результатів видно, що спектри розчинів антоціанів виноградних вичавок мають максимум поглинання при довжині хвилі 515 нм. З довідкових даних відомо, що максимум поглинання антоціанів спостерігається при довжині хвилі 515 нм.

З рис. 3 видно, що найбільше повне екстрагування антоціанів відбувається при температурі 25°C протягом 30 хв. Збільшення температури екстрагування до 65°C призводить до зниження вилучення пігменту з виноградних вичавок, мабуть, це пояснюється його частковим руйнуванням при високих температурах і тривалим часом екстрагування. Тому, в подальших дослідженнях для оцінки біотехнологічного потенціалу антоціанів виноградної сировини сорту одеський чорний як контрольний зразок використовували розчин антоціанів, виділений при температурі 25 °С протягом 30 хв.

Встановлено, що вміст антоціанінів в екстракті з винограду Одеський чорний такий: ціанідін-3-диглюкозид – $89,30 \pm 0.3$ мкмоль/г екстракту, ціанідін-3-глюкозид – $118,26 \pm 0.94$ мкмоль/г екстракту, загалом $6,81 \text{ мг/см}^3$ антоціанів.

Виявлення більшості видів біологічної активності – антимікробної, протигрибкової, протипухлинної – потребує проведення експерименту на біологічних об'єктах: культурах бактерій, грибів, рослинних та тваринних клітин тощо і можливе лише у спеціалізованих лабораторіях, що вимагає кооперації хіміків – синтетиків з науковими закладами біологічного чи медичного профілю.

Однак деякі види потенційного впливу на живий організм можуть бути виявлені із застосуванням традиційних для хімії методів. До таких належить, зокрема, антиоксидантна активність – тематика, що активно вивчається потягом останніх

десятиріч. У сучасній літературі антиоксидантна активність пов'язується, передусім, зі здатністю речовини поглинати вільні радикали. Антирадикальну дію зручно вивчати, застосовуючи стабільні вільні радикали, до яких належить, зокрема, DPPH – 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразил радикал.

При виконанні роботи досліджували взаємодію екстракту з виноградних вичавок з DPPH.

Встановлено, що екстракт з виноградних вичавок має антирадикальну активність – 1,76 мМ Trolox еквівалент.

Висновки і пропозиції. Одним із шляхів вирішення проблеми виробництва безпечної та функціональної харчової продукції є створення та використання у технології виробництва продуктів харчування безпечних натуральних харчових барвників, оскільки в доповнення до кольору вони є джерелами біологічно активних сполук і можуть надавати продуктам функціональні властивості.

Отримано антоціановий барвник, що містить комплекс біологічно активних сполук і являє собою в'язку рідину темно-червоного кольору із запахом і смаком винограду. Наведено чітку математичну залежність вмісту антоціанів у розчині при різних способах його вилучення від часу екстрагування.

Визначено, що екстракти антоціанів з вичавок винограду сорту Одеський чорний мають антирадикальну активність.

Показано, що вичавки з винограду сорту Одеський чорний або аліберне є продуктивним джерелом антоціанів. Оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів, виділених із вичавок винограду сорту Одеський чорний або аліберне, показала, що екстракти антоціанів можуть бути використані як барвники та джерела біологічно активних речовин при виробництві харчових барвників і косметичних виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Jariani, P., Shahnejat-Bushehri, A.-A., Naderi, R., Zargar, M., Naghavi, M. R. (2024). Molecular and Phytochemical Characteristics of Flower Color and Scent Compounds in Dog Rose (*Rosa canina* L.). *Molecules*, 29 (13), 3145. <https://doi.org/10.3390/molecules29133145>
2. Morata, A., Escott, C., Loira, I., Del Fresno, J. M., González, C., Suárez-Lepe, J. A. (2019). Influence of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* Yeasts in the Formation of Pyranoanthocyanins and Polymeric Pigments during Red Wine Making. *Molecules*, 24 (24), 4490. <https://doi.org/10.3390/molecules24244490>
3. Quina, F. H., Bastos, E. L. (2018). Chemistry Inspired by the Colors of Fruits, Flowers and Wine. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 90 (1 Suppl 1), 681-695. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170492>
4. Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., Paredes-López, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40 (3), 173-289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>
5. Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15 (10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
6. Tobolka, A., Škorpilová, T., Beňo, F., Podskalská, T., Rajchl, A. (2024). Effect of Various Carbohydrates in Aqueous Solutions on Color Stability and Degradation Kinetics of Selected Anthocyanins During Storage. *Foods*, 13(22), 3628. <https://doi.org/10.3390/foods13223628>
7. Pinela, J., Prieto MA, Barros L, Carvalho AM, Oliveira MBPP, Saraiva JA, Ferreira ICFR (2018). Cold extraction phenolic compounds of watercress by high hydrostatic pressure: Process modelling and optimization. *Separation and Purification Technology*, 192, 501-512. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.007>

8. Silva Lima, Á., Sales de Oliveira, B., Shabudin, M. A., Almeida, M. G., & Freire, K. B. (2021). Purification of anthocyanins from grape pomace by centrifugal partition chromatography. *Journal of Molecular Liquids*, 326, 115324. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115324>
9. Xie, Y., Ma, M., Zhang, C., Yang, Y., Shumin, S., Ma, W., Li, Q. (2022). Experimental and theoretical research on the effect of coupling heat and pH on the structure and antioxidant activity of cyanidin-3-O-glucoside from black soybean coat. *Journal of the science of food and agriculture*, 102(5), 1842-1850. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11519>
10. Xiaonan, Sui Xin, Dong Weibiao, Zhou. (2014). Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. *Food chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.075>
11. Patras, Ankit Brunton, Nigel O'Donnell, Colm & Brijesh kumar, Tiwari. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods: Mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*. 21. 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>
12. Qin, X., Yuan, D., Wang, Q., Hu, Z., Wu, Y., Cai, J., Huang, Q., Li, S., & Liu, G. (2018). Maillard-Reacted Whey Protein Isolates Enhance Thermal Stability of Anthocyanins over a Wide pH Range. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(36), 9556-9564. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03125>
13. Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, 73(3), 914-922. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.09.026>
14. Martins, N., Roriz, C.L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I.C. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science and Technology*, 52, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
15. Paun, N., Botoran, O. R., & Niculescu, V. -C. (2022). Total Phenolic, Anthocyanins HPLC-DAD-MS Determination and Antioxidant Capacity in Black Grape Skins and Blackberries: A Comparative Study. *Applied Sciences*, 12(2), 936. <https://doi.org/10.3390/app12020936>
16. ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014 Харчові добавки. Номенклатура та загальні вимоги (CODEX STAN 192-1995, REV.9-2008, IDT) https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91495
17. Pandey, Pragya Grover, Kiran. (2020). Characterization of black carrot (*Daucus carota* L.) polyphenols; role in health promotion and disease prevention: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9. 2784-2792. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5am.12764>

REFERENCES:

1. Jariani, P., Shahnejat-Bushehri, A. -A., Naderi, R., Zargar, M., Naghavi, M. R. (2024). Molecular and Phytochemical Characteristics of Flower Color and Scent Compounds in Dog Rose (*Rosa canina* L.). *Molecules*, 29 (13), 3145. <https://doi.org/10.3390/molecules29133145>
2. Morata, A., Escott, C., Loira, I., Del Fresno, J. M., González, C., Suárez-Lepe, J. A. (2019). Influence of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* Yeasts in the Formation of Pyranoanthocyanins and Polymeric Pigments during Red Wine Making. *Molecules*, 24 (24), 4490. <https://doi.org/10.3390/molecules24244490>
3. Quina, F. H., Bastos, E. L. (2018). Chemistry Inspired by the Colors of Fruits, Flowers and Wine. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 90 (1 Suppl 1), 681-695. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170492>
4. Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., Paredes-López, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing,

and stability. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40 (3), 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>

5. Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15 (10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

6. Tobolka, A., Škorpirová, T., Beňo, F., Podskalská, T., Rajchl, A. (2024). Effect of Various Carbohydrates in Aqueous Solutions on Color Stability and Degradation Kinetics of Selected Anthocyanins During Storage. *Foods*, 13(22), 3628. <https://doi.org/10.3390/foods13223628>

7. Pinela, J., Prieto MA, Barros L, Carvalho AM, Oliveira MBPP, Saraiva JA, Ferreira ICFR (2018). Cold extraction phenolic compounds of watercress by high hydrostatic pressure: Process modelling and optimization. *Separation and Purification Technology*, 192, 501-512. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.007>

8. Silva Lima, A., Sales de Oliveira, B., Shabudin, M. A., Almeida, M. G., & Freire, K. B. (2021). Purification of anthocyanins from grape pomace by centrifugal partition chromatography. *Journal of Molecular Liquids*, 326, 115324. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115324>

9. Xie, Y., Ma, M., Zhang, C., Yang, Y., Shumin, S., Ma, W., Li, Q. (2022). Experimental and theoretical research on the effect of coupling heat and pH on the structure and antioxidant activity of cyanidin-3-O-glucoside from black soybean coat. *Journal of the science of food and agriculture*, 102(5), 1842-1850. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11519>

10. Xiaonan, Sui Xin, Dong Weibiao, Zhou. (2014). Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. *Food chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.075>

11. Patras, Ankit Brunton, Nigel O'Donnell, Colm & Brijesh kumar, Tiwari. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods: Mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science and Technology*. 21. 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>

12. Qin, X., Yuan, D., Wang, Q., Hu, Z., Wu, Y., Cai, J., Huang, Q., Li, S., & Liu, G. (2018). Maillard-Reacted Whey Protein Isolates Enhance Thermal Stability of Anthocyanins over a Wide pH Range. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(36), 9556-9564. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03125>

13. Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, 73(3), 914-922. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.09.026>

14. Martins, N., Roriz, C.L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I.C. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science and Technology*, 52, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>

15. Paun, N., Botoran, O. R., & Niculescu, V. -C. (2022). Total Phenolic, Anthocyanins HPLC-DAD-MS Determination and Antioxidant Capacity in Black Grape Skins and Blackberries: A Comparative Study. *Applied Sciences*, 12(2), 936. <https://doi.org/10.3390/app12020936>

16. DSTU-N CODEX STAN 192:2014 Food additives. Nomenclature and general requirements (CODEX STAN 192-1995, REV.9-2008, IDT) https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91495

17. Pandey, Pragya Grover, Kiran. (2020). Characterization of black carrot (*Daucus carota* L.) polyphenols; role in health promotion and disease prevention: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9. 2784-2792. <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5am.12764>

ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

UDC 628.38

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.26>

RESEARCH INTO THE THERMAL CHARACTERISTICS OF GRANULAR FUEL MADE FROM SEWAGE SLUDGE

Kravchenko V. I. – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Hydraulic Construction,
Water and Electrical Engineering of the Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID ID: 0000-0002-4989-1591

Kravchenko V. P. – Ph.D. in Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Finance, Banking and Insurance
of the Central Ukrainian National Technical University
ORCID ID: 0000-0003-4343-6296

Today, the scale of the formation and accumulation of various wastes, in particular sewage sludge (SS) at sewage treatment plants in settlements, continues to grow. This situation leads to the alienation of productive agricultural lands by sludge and environmental pollution, which requires their immediate processing and disposal. One of the effective ways to process SS can be to produce granulated biofuel from it. The paper considers the issue of utilizing SS by producing biofuel pellets from them. For experiments on the production of pellets, samples of sewage sludge from the treatment facilities of regional municipal production enterprise "Dnipro-Kirovograd" in the city of Kropyvnytskyi after centrifugation with 75–80% humidity of two types: raw sediment and excess activated sludge. The experiments were carried out according to the developed research methodology on a specially designed laboratory press device. Due to the high humidity of the sludge sediment samples (75–78%), before making pellets from them, their preliminary preparation was carried out by thermal (drying) and mechanical (grinding) treatment. From the prepared sludge sediments with a humidity of 12–15%, when compressed to final pressures of 130.5...217.5 MPa in a press device with a vertical punch and a closed matrix, pellet samples with a high-quality texture and a density of 1150–1260 kg/m³ are formed, which meets the requirements of European standards $\rho \geq 1.0$ g/cm³. The determined ash content of the manufactured samples of biofuel pellets on dry weight was 24–41%, and the calorific value calculated by the D. Mendeleev formula was 16–20 MJ/kg, which is comparable to the calorific value of briquettes made of wood waste, brown coal, and peat. The obtained results of the conducted experimental studies can be considered as estimative. In general, they confirm the prospect of further research and development in the direction of technologies and equipment for the production of biofuel pellets from sewage sludge and their further utilization through use in thermal power plants.

Key words: sewage sludge, utilization, experimental press installation, biofuel, density, heat of combustion, ash content.

Кравченко В. І., Кравченко В. П. Дослідження теплотехнічних характеристик гранульованого палива, виготовленого з осадів стічних вод

На сьогодні продовжують зростати масштаби утворення та накопичення різноманітних відходів, зокрема осадів стічних вод (ОСВ) на каналізаційних очисних спорудах населених пунктів. Такий стан призводить до відчуження осадами продуктивних сільськогосподарських земель та забруднення довкілля, що потребує їх негайної обробки та утилізації. Одним із ефективних способів переробки ОСВ може бути виготовлення з нього гранульованого біопалива. В роботі розглянуто питання утилізації ОСВ шляхом виготовлення з них біопаливних пелет. Для експериментів з виготовлення пелет використовувалися зразки мулових осадів з очисних споруд ОКВП «Дніпро-Кіровоград» у м. Кропивницький після центрифугування вологістю 75–80% двох видів: сирий осад та надлишковий активний мул. Експерименти здійснювалися за розробленою методикою досліджень на спеціально розробленому лабораторному пресовому пристрої. Через високу вологість зразків мулових осадів (75–78%), перед виготовленням з них пелет здійснювалась попередня їх підготовка шляхом термічної (підсушування) та механічної (подрібнення) обробки. З підготовлених мулових осадів вологістю 12–15% при стискуванні до кінцевих тисків 130,5...217,5 МПа у пресовому пристрої з вертикальним пуансоном і закритою матрицею утворюються зразки пелет з якісною фактурою і густиною 1150–1260 кг/м³, що відповідає вимогам європейських стандартів $\rho \geq 1,0$ г/см³. Визначена зольність виготовлених зразків біопаливних пелет на суху масу складала 24–41%, а розрахована за формулою Д. Менделєєва теплота згоряння складала 16–20 МДж/кг, що порівняно з теплою згоряння брикетів з дерев'яних відходів, бурого вугілля, торфу. Отримані результати проведених експериментальних досліджень можна розглядати як оціночні. Загалом вони підтверджують перспективу подальших досліджень і розробок в напрямку технологій і обладнання для виготовлення біопаливних пелет з осадів стічних вод та подальшої їх утилізації шляхом використання в теплоенергетичних установках.

Ключові слова: осади стічних вод, утилізація, експериментальна пресова установка, біопаливо, щільність, теплота згоряння, зольність.

Introduction. Among the current environmental problems in Ukraine and around the world, the disposal of industrial waste stands out, which, in particular, is related to the issues of sewage treatment plant waste. Waste in the form of sewage sludge, consisting of household, industrial and storm water, is discharged into the sewer and is a source of pollution of urban areas.

To treat large volumes of wastewater, treatment systems are used that are based on the formation of sludge, which remains in sludge ponds for years [1]. The use of such sites for the disposal of SS is a traditional, but outdated and irrational method of sediment management, as it takes significant areas of land out of circulation and leads to pollution of air, soil, and groundwater with toxic components that are part of the sediments [2, 3].

Currently, stricter EU rules regarding the management of local sewage sludge, as well as the Law of Ukraine "On Water Disposal and Wastewater Treatment" of January 12, 2023, pose new challenges for the country, one of which is to find areas of effective technologies and methods of their utilization.

Analysis of recent research and publications. The feasibility of using a certain technology for the utilization of wastewater depends on several factors: the productivity of the wastewater treatment plant, the composition and methods of wastewater and sludge treatment, the efficiency of treatment facilities, etc. [4]. Thus, in Germany, Great Britain, Sweden and Finland, silt sediments are used for land reclamation and reclamation of lands disturbed by industrial developments, as well as for combustion to obtain thermal energy and ash, which is a valuable product for the production of building materials [5]. In France, 50–60% of SS is used as organic fertilizer; 20–25% is taken to solid waste landfills; and 15–20% is burned in incinerators [6].

In Ukraine, the use of SS as fertilizer is limited to 5% due to a number of circumstances, including the presence of bacterial contamination, toxic compounds, and a high

content of trace elements, which have a negative impact on plants and the quality of agricultural products. Therefore, the burial of SS is the main method of their storage for decades [5].

One of the methods of disposal that is guaranteed to eliminate harmful organic substances and significantly reduce the volume of sludge waste is incineration [6]. The heat of combustion of SS per dry mass is 14.5–16.0 MJ/kg [7] and is not inferior to wood, peat and brown coal.

However, the process of spreading the method of burning sludge in Ukraine and the world is primarily hindered by their high humidity, which is not less than 70% [2]. Studies have shown that it is advisable to use them in the energy combustion process only after they reach a moisture content of 10% [8].

For preliminary drying of SS before incineration, efficient drying equipment can be used, which will ensure the preparation of raw materials for thermochemical processing with an initial humidity of 60–70% [2]. At the same time, after treatment of SS in sewage treatment plants, they are also characterized by variability in composition, size and shape, which worsens the process of their incineration [1]. Therefore, it is more expedient to use SS as fuel in the form of pellets, which will also make it possible to increase the efficiency of energy use.

The aim of the study. The aim of the work is the experimental testing of pilot samples of biofuel pellets made from wastewater sludge of the “Dnipro-Kirovograd” Wastewater Treatment Plant.

Presenting main material. The collection of formed sludge from wastewater, as well as their neutralization and preparation for disposal, takes place in a complex of engineering structures used in treatment plants using biological treatment technology in aeration tanks. The technological scheme for the treatment and processing of wastewater sludge is given in [1]. This technological process is currently one of the easiest to implement, basic in Ukraine, used at most existing treatment plants and allows for the removal of organic pollutants by 95–97%.

In experimental studies on the production of pellets, samples of sludge from the treatment facilities of the regional municipal production enterprise “Dnipro-Kirovograd” in Kropyvnytskyi were used. Samples of two types were provided after centrifugation with a humidity of 75–80%: raw sludge (SS-1) and excess activated sludge (SS-2). Since the provided samples of sewage sludge had high humidity, before making fuel from them, they were prepared by thermal and mechanical treatment. After treatment, the samples were destroyed with the formation of individual particles, of which the majority (60–70%) had dimensions of 3–5 mm and humidity of 16%.

To produce pellets from sludge SS in a closed matrix, an experimental press installation was used, the scheme of which is shown in Fig. 1a, and a press device with a mold and a punch $d = 16$ mm, the general view of which is shown in Fig. 1b.

For fractographic study of the surface structure of biofuel granules made from sludge SS, an optical-digital unit was used, consisting of: a stereoscopic microscope model MBC-9, a Web camera and a laptop.

The ash content was assessed using a muffle furnace. The crucible with the installed sample was placed in a muffle furnace and ashed with subsequent holding in it at a temperature of 800 °C for 1 hour (until the carbon was completely burned out).

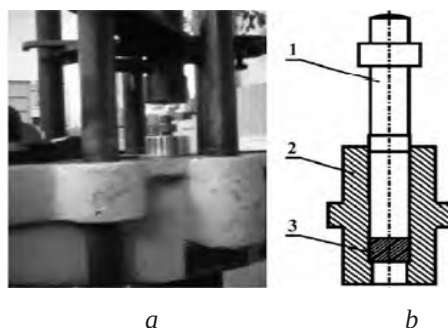


Fig. 1. Working part of the YBM-50 machine with installed press device (a), press device (b)

The results of experimental studies are given in Table 1.

Table 1

Main results of experimental studies

Raw	Bulk density, g/cm ³	Pellet density, g/cm ³		Heat of combustion, MJ/kg	Ash content, %
		Pressure 130.5 MPa	Pressure 217.5 MPa		
SS-1	0.42	1.18	1.26	16.54	41.0
SS-2	0.413	1.15	1.22	20.15	24.5

The general appearance of pellets made from samples SS-1 and SS-2 is shown in Figure 2.

Pellet samples made from sewage sludge had a sufficiently smooth surface (Fig. 2a, 2b) and a high density: 1.15...1.26 g/cm³ (Table 1), which meets the requirements of European standards $\rho \geq 1.0$ g/cm³ [9].

The nature of the surface structure of the pellets and the density of the gaps between the particles of the raw material after pressing are shown in Figure 3.



Fig. 2. General view of pellets and their ash residues after combustion made from: a – raw sludge SS-1; b – activated sludge SS-2



*Fig. 3. Character of the surface structure of pellets and the density of gaps between the particles of raw material after pressing:
a – outer surface of the SS-1 sample with a final pressure of 130.5 MPa;
b – the same with a final pressure of 217.5 MPa*

The results of fractographic studies showed that with increasing pellet density (at final pressures of 130.5 and 217.5 MPa), the distance between particles on the surface decreases from 0.075 mm (Fig. 3 a) to 0.02 mm (Fig. 3 b).

To determine the higher heat of combustion of sewage sludge per dry mass, which was carried out based on the average values of the elemental composition of the raw material, D. Mendeleev's formula was used to calculate the higher heat of combustion per working mass [10]:

$$Q_g^p = 4,187(81C^p + 300H^p - 26(O^p - S)),$$

where C^p , H^p , O^p , S^p – elemental composition of fuel per working mass.

Recalculation of the higher heat of combustion from the working mass to the dry mass was carried out according to the expression:

$$Q_s^d = Q_g^p \frac{100}{100 - W^p}$$

where W^p is the moisture content of sludge before pressing.

The values of the higher calorific value per dry mass of the manufactured pellet samples are given in Table 1.

The obtained values of the heat of combustion of pellets from sewage sludge (16.54...20.15 MJ/kg) are in satisfactory agreement with the average values of the heat of combustion: 16.8...27.4 MJ/kg, given in [11] for domestic sewage sludge.

The general appearance of ash residues after burning pellets made from sewage sludge is shown in Figure 2. The ash residue per dry mass of SS-1 almost twice exceeded the value of SS-2 and was 46.0 and 24.5%, respectively. Significantly different quantitative data of the obtained ash content values of pellets from sludge waste SS-1 and SS-2 may be due to their slightly different initial compositions. At the same time, it should be noted that, in general, the results obtained on ash content are in satisfactory agreement with the data given in works [12].

Conclusions. 1. The paper deals with the issue of disposal of sewage sludge by making biofuel pellets from it.

2. A research methodology and a press device have been developed for experimental testing of the production of pilot samples of biofuel pellets from sewage sludge of the “Dnipro-Kirovograd” Wastewater Treatment Plant.

3. It has been determined that the production of pellets from sewage sludge, due to their high humidity (75–80%), requires their preliminary preparation by thermal (drying) and mechanical (grinding) treatment.

4. From the prepared sewage sludge with a humidity of 12–15%, when compressed to final pressures of 130.5...217.5 MPa in a press device with a vertical punch and a closed matrix, pellet samples with a high-quality texture and a density of 1150-1260 kg/m³ are formed, which meets the requirements of European standards $\rho \geq 1.0$ g/cm³

5. The determined ash content of the manufactured samples of pellets from sewage sludge was 24–41%, and the calculated heat of combustion per dry mass was 16–20 MJ/kg, which is comparable to the heat of combustion of briquettes from wood waste, brown coal, and peat.

6. The obtained quantitative results of the conducted experimental studies can be considered as evaluative, taking into account the wide range of initial characteristics of sewage sludge and the provision of methods for their preliminary preparation for the press production of biofuel pellets.

7. In general, the results obtained confirm the prospects for further research and development in the direction of technologies and equipment for the production of biofuel pellets from sewage sludge for the purpose of their utilization by use in thermal power plants.

BIBLIOGRAPHY:

1. Кравченко В.І., Білоус Ю.В., Кравченко В.П. Створення та обґрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод. Технічні науки. Херсон: ХДАЕУ. 2023. Вип. 3. С. 88-94. URL: <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403>

2. Бабаєв В.М., Панов В.В., Хайло Я.М., Волков В.М., Горох М.П. Альтернативні технологічні рішення проблеми повної утилізації мулового осаду стічних вод // Комунальне господарство міст. 2018. № 144. С. 32-42.

3. Syed Shatir A., Syed-Hassan, Yi Wang, Song Hu, Sheng Su, Jun Xiang. Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117309036>

4. Зоріна О.В., Маврикін Є.О. Сучасні підходи до обробки та утилізації вторинних осадів господарсько-побутових стічних вод // Водні ресурси. Меліорація і водне господарство, 2021, № 2. С. 55-68.

5. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України // Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Т. 29. № 2. С.82-87.

6. Карп І. М., П'яних К. Є., Нікітін Є. Є. Проблема утилізації та знешкодження мулових осадів // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2017. № 2. С. 35-48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2017_2_6

7. Пазюк В.М., Токарчук О.А. Основні характеристики осадів стічних вод. Техніка, енергетика, транспорт АПК. С.96-104. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-11.

8. Malhozata V. та Mariush T. Production of solid biofuel from city sewage sludge. Technical and economic optimization. 2015. Vol. 33(8). URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X15588584>

9. Сайт ukr bio: Пелети-стандарти. Пелети-стандарти. URL: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/1574/>

10. Константінов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. К.: «Золоті ворота», 2012. 592 с.

11. Шаманський С.Й., Бойченко С. В. Енергоефективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств. Восточно-Европейський журнал передових технологій. 2015. № 5(8). С. 39-45. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_5%288%29_8

12. Бондар О.І., Лозовіцький П.С., Машков О.А., Лозовіцький А.П. Екологічний стан накопичених осадів стічних вод м. Києва / Науково-практичний журнал Екологічні науки. 2015, №7. С. 38-53. URL: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/5.pdf>

REFERENCES:

1. Kravchenko V. I., Bilous Yu. V., Kravchenko V. P. (2023) Stvorennia ta obhruntuvannia kompozytnoho palyva na osnovi osadu stichnykh vod [Creation and justification of composite fuel based on sewage sludge] *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Tavrii scientific university] (electronic journal), no. 3. pp. 88-94. Retrieved from: <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403> (accessed 15 December 2024).
2. Babaiev V.M., Panov V.V., Khailo Ya.M., Volkov V.M., Horokh M.P. (2018). *Alternatyvni tekhnologichni rishennia problemy povnoi utylizatsii mulovoho osadu stichnykh vod* [Alternative technological solutions to the problem of complete utilization of sewage sludge]. *Komunalne hospodarstvo mist* [Municipal utilities]. Kharkiv, Kharkiv: National University of Urban Economy named after O.M. Beketov, no. 144, pp. 32-42.
3. Syed Shatir A. Syed-Hassan, Sheng Su, Jun Xiang (2017) [Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations]. *Oglyadi vidnovlyuvanoyi ta staloyi energetiki* [Renewable and Sustainable Energy Reviews]. *Agricultural sciences* (electronic journal), vol. 80, pp. 888-913. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117309036> (accessed 19 December 2024).
4. Zorina O.V., Mavrykin Ye.O. (2021) Suchasni pidkhody do obrobky ta utylizatsii vtorynnykh osadiv hospodarsko-pobutovykh stichnykh vod. [Modern approaches to the treatment and disposal of secondary sludge from domestic wastewater] *Vodni resursy. Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. [Water resources. Land reclamation and water management]. Kyiv: pp. 55-68.
5. Shkivirko O. M., Tymchuk I. S., Malovanyi M. S. (2019). Adaptatsiia svitovoho dosvidu utylizatsii osadiv stichnykh vod do ekolohichnykh umov Ukrainy. [Adaptation of world experience in wastewater sludge utilization to the environmental conditions of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine], Lviv: Natsionalnyi lisotekhnichniyi universytet ukrainy, pp. 82-87.
6. Karp I. M., Pianykh K. Ye., Nikitin Ye. Ye. (2017) Problema utylizatsii ta zneshkodzhennia mulovykh osadiv [The problem of utilization and neutralization of sludge sediments] *Enerhotekhnolohyy y resursoberezhenye*. [Energy technologies and resource conservation]. *Enerhotekhnolohyy* (electronic journal) no. 2, pp. 35-48. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2017_2_6 (accessed 20 December 2024).
7. Paziuk V.M., Tokarchuk O.A. Osnovni kharakterystyky osadiv stichnykh vod. [Main characteristics of sewage sludge]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK* [Machinery, energy, transport, agro-industrial complex] *Engineering, Energy, Transport AIC* (electronic journal), vol. 3, no. 126, pp. 96-104. Retrieved from: DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-11 (accessed 22 December 2024).
8. Malhozhata V. ta Mariush T. (2015) Tekhniko-ekonomichna optymizatsiia [Production of solid biofuel from municipal wastewater sludge] *Tekhniko-ekonomichna optymizatsiia* [Technical and economic optimization]. *Agriculture* (electronic journal), vol. 33, no. 8, pp. 36-42. Retrieved from: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X15588584> (accessed 15 December 2024).
9. Sait ukr bio: Pelety-standarty. Retrieved from: <https://bio.ukr.bio/ua/articles/1574/> (accessed 18 December 2024).
10. Konstantinov S.M., Panov Ye.M. (2012) Teoretychni osnovy teplotekhniki [Theoretical foundations of heat engineering]. Kyiv. Zoloti vorota. (in Ukrainian)
11. Shamanskyi S.I., Boichenko S.V. (2015) Enerhoefektyvna ta ekolohichno bezpechna tekhnolohiia stabilizatsii osadiv stichnykh vod aviapidpriemstv [Energy-efficient and environmentally friendly technology for stabilizing airline wastewater sludge]. *Enerhozberihaiuchi tekhnolohii ta obladnannia*, vol. 5, no 8, pp. 39-45. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2015_5%288%29_8 (accessed 23 December 2024).
12. Bondar O.I., Lozovitskyi P.S., Mashkov O.A., Lozovyskyi A.P. (2015) Stan nakopychenykh osadiv stichnykh vod m. Kyieva [Ecological condition of accumulated sewage sludge in Kyiv]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal Ekolohichni nauky*, no 7, pp. 38-53. Retrieved from: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/7/5.pdf>. (accessed 10 December 2024).

УДК 624.01:51.001:624.131

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.27>

ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ

Литвиненко В. В. – старший викладач кафедри морського та цивільного будівництва і архітектури Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-0715-5190

Андрєєвська Г. М. – кандидат географічних наук, доцент кафедри морського та цивільного будівництва і архітектури Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0003-1486-9818

Мироненко І. М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної інженерії та архітектури Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-5322-9859

Надійність морських гідротехнічних споруд багато в чому залежить від надійності їх проектів, при розробці яких враховуються природно-кліматичні умови районів будівництва, їх інфраструктура, наявність місцевих будівельних матеріалів та багато інших факторів. Морські гідротехнічні споруди під час експлуатації піддаються впливу трьох основних природних сил. До них відносяться: штормові вітрові хвилі; дрейфуючі льодові утворення у вигляді рівних крижаних полів, одиночних торосів та полів торошення; сейсмічні навантаження. Об'єктивний облік цих факторів при проектуванні є найважливішою складовою надійності майбутніх об'єктів за розрахунковий період їхнього терміну служби. Точність оцінки силового впливу природних сил залежить від достовірності вихідних даних та досконалості методів відповідних розрахунків, втілених у рекомендаціях нормативних документів. Силові впливи уточнюються усім стадіях проектування морських споруд, зокрема й у процесі наукового супроводу.

Надійність морських споруд насамперед залежить від надійності їхніх проектів. Якість гідротехнічних робіт та будівельних матеріалів, що використовуються в процесі будівництва генеральними підрядниками, контролюються замовниками та авторами проектів. Проектування, будівництво, приймання та подальша експлуатація морських споруд повинні здійснюватися у суворій відповідності до вимог нормативних документів. Тому вже в процесі їх проектування питанням надійності приділяється першорядне значення. Об'єктивна оцінка силових впливів залежить своєю чергою від достовірності вихідних даних, що визначаються з урахуванням аналізу результатів інженерних пошукув, виконуваних у відповідність до вимогами нормативних документів.

У цій роботі наведено аналіз основних причин, що впливають на надійність проектів морських гідротехнічних споруд.

Ключові слова: морські гідротехнічні споруди, вітрові хвилі, льодові утворення, що дрейфують, сейсмічні навантаження, надійність проектів.

Litvinenko V. V., Andreyevska G. M., Mironenko I. M. Determination of reliability of offshore hydraulic structures at the design stage

The reliability of offshore hydraulic structures largely depends on the reliability of their designs, the development of which takes into account the natural and climatic conditions of the construction regions, their infrastructure, the availability of local building materials and many other factors. Marine hydraulic structures during exploitation are exposed to three main natural forces. These include: storm wind waves; drifting ice formations in the form of level ice, single hummocks and hummock fields; seismic loads. Objective consideration of these factors during design is the most important component of the reliability of future structures over the estimated period of their service. The accuracy of assessing the force influence of natural forces

depends on the reliability of the initial data and the perfection of the methods of corresponding calculations embodied in the recommendations of regulatory documents. The values of natural loads and impacts are clarified at all stages of the design of offshore structures, including during the process of scientific support.

The reliability of offshore structures primarily depends on the reliability of their designs. The quality of hydraulic engineering works and construction materials used by general contractors in the construction process is controlled by customers and project authors. The design, construction, acceptance and subsequent operation of offshore structures must be carried out in strict compliance with the requirements of regulatory documents. Therefore, reliability issues are of paramount importance already in the process of their design. An objective assessment of force impacts depends, in turn, on the reliability of the initial data, which is determined based on the analysis of the results of engineering surveys performed in accordance with the requirements of regulatory documents.

In this paper, an analysis of the reasons affecting the reliability of sea hydraulic structures projects is carried out.

Key words: offshore hydraulic structures, wind waves, drifting ice formations, seismic loads, reliability of projects.

Вступ. Кожна гідротехнічна споруда, в силу природно-кліматичних умов районів будівництва, її технічних характеристик та місця розташування є само по собі унікальною. Тому в процесі проектування враховується та уточняється цілий комплекс питань як при розробці технічних завдань, так і на всіх стадіях проектування.

Інженерний досвід проектування морських показав, що найбільш доцільним є трьох стадійність цього процесу (техніко-економічне обґрунтування, технічний проєкт, робочий проєкт). Прискорення процесу проектування, з метою скорочення часу та фінансів, є основною причиною прийняття невірних рішень, що призводять зрештою до аварій споруд іноді навіть ще на стадії незавершеного будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усі гідротехнічні споруди, відповідно до вимог ДБН В.2.4-3: 2010 [1], належать до того чи іншого класу відповідальності з урахуванням наслідків у разі їх руйнувань під час експлуатації. Так до найвищого класу відповідальності на морі СС3 відносяться огорожувальні та морські нафтогазопромислові гідротехнічні споруди, які піддаються прямому впливу наведених вище природних факторів. Аварії таких споруд у процесі екстремальних природних впливів на них матимуть катастрофічні наслідки. Так, навіть часткове руйнування огорожувальних споруд у період дії штормів рідкісної повторюваності, може призвести до значних пошкоджень причалів і пришвартованих до них суден, а також інших типів портових споруд, що загрожує величезними фінансовими втратами. Аварії морських нафтогазопромислових гідротехнічних споруд можуть призвести до екологічних катастроф морів (аварія плавучої бурової установки Deepwater Horizon, що належала “British Petroleum”, у Мексиканській затоці 20 квітня 2010 року). При цьому із 126 осіб, які перебували на борту, 11 загинули, 17 постраждали. Нафта фонтанувала зі свердловини до 19 вересня. За цей час у води затоки потрапило близько 780 000 м³ сирої нафти. Таким чином, вихід з ладу морських гідротехнічних споруд вищого класу відповідальності в принципі є неприпустимим. Надійність таких споруд насамперед залежить від надійності їхніх проєктів. Якість гідротехнічних робіт та будівельних матеріалів, що використовуються в процесі будівництва генеральними підрядниками, контролюються замовниками та авторами проєктів. Проектування, будівництво, приймання та подальша експлуатація морських споруд повинні здійснюватися у суворій відповідності до вимог нормативних документів. Тому

уже в процесі їх проектування питанням надійності приділяється першорядне значення. Об'єктивна оцінка силових впливів залежить своєю чергою від достовірності вихідних даних, що визначаються з урахуванням аналізу результатів інженерних пошуків, виконуваних у відповідність до вимогами нормативних документів.

У цій роботі проаналізовано основні фактори, що впливають на надійність проектів морських гідротехнічних споруд з урахуванням досвіду їх проектування та будівництва.

Мета та завдання. Метою цієї роботи є аналіз основних факторів, що впливають на якість та надійність проектів морських гідротехнічних споруд. Поставленої мети було досягнуто:

- аналізом процесу проектування таких споруд;
- аналіз аварій морських гідротехнічних споруд.

Виклад основного матеріалу дослідження. Прискорення процесу проектування, з метою скорочення часу та фінансів, є основною причиною прийняття невірних рішень, що призводять, зрештою, до аварій споруд, іноді навіть ще на стадії будівництва.

Аналіз аварій морських гідротехнічних споруд показав, що основними їх причинами були: необ'єктивна інформація про інженерно-геологічні, гідрологічні, природно-кліматичні та інші природні фактори в районах майбутнього будівництва, на підставі яких визначалися вихідні дані для проектування; недосконалість методів розрахунків природних навантажень та стійкості споруд на ґрунтовій основі від їх впливу; неправильний вибір найбільш не вигідного поєднання екстремальних значень зовнішніх та технологічних навантажень; відсутність належної якості рекомендацій, розроблених на підставі аналізу результатів досліджень, виконаних у процесі наукового супроводу науковцями з відповідних галузей знань.

Яскравим прикладом такої аварії, яка сталася на етапі будівництва – це хвилелом для нового контейнерного терміналу в Одесі, частина якого затонула в результаті розмиву ґрунту.



Рис. 1. Хвилелом для нового контейнерного терміналу в Одесі

Як приклад можна ще навести аварію молу в нафтовій гавані Шесхаріс у Цемеській бухті Чорного моря у 1966 році. При оцінці його стійкості на ґрунтовій основі у розрахунках були використані завищені значення фізико-механічних характеристик ґрунтів, що залягають на підставі споруди.

На початку нинішнього століття при проектуванні молу в порту, нафтопереробного заводу в провінції Куангнгай у В'єтнамі, в бухті Куанггай, на узбережжі

Південно-Китайського моря, в результаті незадовільної якості інженерно-геологічних вишукувань по всій довжині створу споруди, була прийнята, невідповідна, конструкція у вигляді кам'яної структури. У процесі будівництва, при уточненні інженерно-геологічних умов, виявилось, що розглянуте у проєкті єдине конструктивне рішення було прийнятне тільки для кореневої частини молу, оскільки між коренем і головою молу під двометровим шаром піску було виявлено 12-метровий шар мулистого ґрунту. Реалізація проєкту призвела до суттєвого збільшення вартості споруди, термінів будівництва та, відповідно, окупності.

До матеріалів досліджень належать дані по: топографії донної поверхні в місцях будівництва споруд; швидкостям та напрямкам вітрів у районах майбутнього будівництва; типам льодових утворень, їх метричним та міцним характеристикам у суворі зими рідкісної повторюваності; сейсмічне районування; інженерно-геологічним умовам; коливань рівня води; температурний режим.

Дані за вітром та топографією дна в місцях будівництва споруд дозволяють, за рекомендаціями БНіП 2.06.04-82* [2], з достатньою точністю визначати розрахункові параметри вітрових хвиль від різних для майбутніх споруд хвиленебезпечних напрямків з урахуванням їхньої трансформації та рефракції. Маючи розрахункові параметри вітрових хвиль, можна розраховувати значення хвильових навантажень різні конструктивні варіанти проєктованих споруд, використовуючи той самий БНіП [2]. Однак у проєктній практиці були випадки, коли в нормативних документах відсутні рекомендації щодо розрахунку хвильових навантажень, наприклад, на спорудження складних форм. Тоді, в процесі наукового супроводу вдаються до фізичного моделювання на плоских або просторових моделях, або у гідрохвильових лотках, або у водних басейнах.

Аналогічним чином, на підставі об'єктивних вихідних даних здійснюються розрахунки льодових впливів на проєктовані об'єкти. При цьому особливе значення мають міцнісні та метричні характеристики розрахункових льодових утворень, отриманих у процесі польових пошуків у районах майбутнього будівництва. Слід зазначити, що льодові навантаження значно перевищують хвильові. До них відносяться навантаження від рівних крижаних полів, одиночних торосів і полів рошення, а також локальний льодовий тиск, який проявляється в початковий момент контакту льодових утворень, що дрейфують, із спорудами. При цьому на малих за площею контактах реалізуються екстремальні значення локальних тисків, які можна розрахувати відповідно до рекомендацій відомчих норм [3]. За допомогою обчислених максимальних значень локальних льодових тисків можна обґрунтовано призначати або марку бетону, або інших будівельних матеріалів, що використовуються в спорудах в зонах змінного рівня води. Не менш важливим є також облік впливу дрейфуючими льодовими утвореннями матеріалів конструкцій споруд в зоні їх контакту з гідротехнічними спорудами.

Вихідні дані щодо сейсмічності району будівництва дозволяють спрогнозувати поведінку проєктованих споруд з урахуванням їх конструкцій, приєднаної маси води та інженерно-геологічних умов основ [5]. Тому особливу значимість мають вихідні дані, які отримують у процесі інженерно-геологічних вишукувань по створах, що відповідають плановому положенню проєктованих об'єктів. Точність цих даних залежить від: кількості та глибини пробурених свердловин; якості відбору зразків ґрунтів за глибиною свердловин та лабораторних досліджень їх характеристик. Зрештою, на точність вихідних інженерно-геологічних умов впливає кваліфікація та практичний досвід інженерно-технічного персоналу, а також досконалість рекомендацій нормативних документів [6], відповідно до яких виконуються перелічені роботи.

Як відомо, вихідні дані призначаються на підставі аналізу результатів комплексних інженерних вишукувань, що проводяться за завданням головного інженера

споруди, що проектується. Кожен вид досліджень проводиться відповідно до вимог відповідних нормативних документів, порушення яких призводить до безперечно неточних вихідних даних. Їх використання не дозволить прийняти оптимальну конструкцію тієї чи іншої споруди, що проектується, з усіма наслідками, що випливають надалі.

Найчастішими похибками, у плані виробництва інженерно-геологічних досліджень, є буріння недостатньої кількості свердловин по створах проєктованих споруд. Як наслідок такої економії коштів, є помилки у вихідних даних з геологічної будови ґрунтів на підставі майбутніх споруд, а також неточності щодо їх фізико-механічних характеристик.



Рис. 2. Процес буріння свердловини під час інженерно-геологічних вишукувань на Чорному морі

Недосконалість методів розрахунків зовнішніх завантажень на проєктні споруди призводить або до їх завищення, або до заниження. Перше викликає істотне збільшення їх вартості, а друге збільшує ризик аварій при екстремальних природних впливах. Без наукового супроводу проєктів неможливо отримати відповіді на низку питань, які виникають у разі відсутності в нормах необхідних розрахункових сценаріїв. Тому при проєктуванні морських гідротехнічних споруд використовують різні види моделювання на фізичних і на математичних моделях. При цьому враховуються всі природно-кліматичні та інші умови району будівництва, розміри споруд, які проєктуються а також розглядаються в проєкті в якості альтернативних конструктивних варіантів. На підставі аналізу результатів таких досліджень розробляються рекомендації для кожного конкретного проєкту.

Досвід проєктування морських гідротехнічних споруд показав, що найефективнішим є розробка проєктів у три стадії. Причому кожної з них виробляється уточнення всіх вихідних даних, відповідно, і розрахунків. На малюнку представлено схему, що відображає стадії проєктування морських гідротехнічних споруд з урахуванням наукового супроводу, яка апробована в проєктній практиці.

Маючи необхідний набір вихідних даних, проєктувальники можуть розпочинати розгляд кількох конструктивних варіантів проєктованої споруди з урахуванням всіх природних чинників, властивих району майбутнього будівництва. Кожен із варіантів проєктованої споруди на стадії технічного проєкту розраховується на зовнішні навантаження, а потім, з урахуванням власної ваги, визначається їхня

стійкість на ґрунтовій основі. Точність таких розрахунків повністю залежить від досконалості відповідних методів розрахунків, які як рекомендації включені до нормативних документів. У разі відсутності в нормах того чи іншого розрахункового сценарію, відповідно до вимог ДБН В.2.4-3:2010, необхідно здійснювати науковий супровід проєктів спеціалістами вищої кваліфікації, які представляють академічні та галузеві інститути, а також ВНЗ.

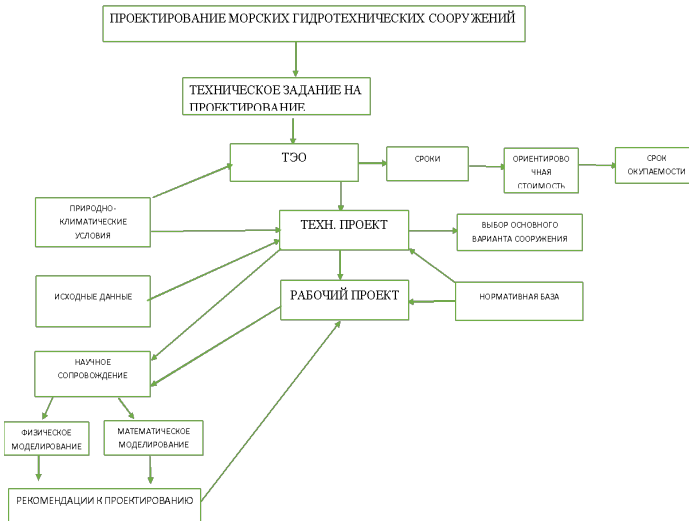


Рис. 3. Схема трьох стадійного проектування морських гідротехнічних споруд

Надійність рекомендацій щодо проектування у процесі наукового супроводу залежить від науково-технічної бази та точності вимірювальної апаратури наукового підрозділу. Важливе значення має також досвід і кваліфікація науково-технічного персоналу.

На стадії технічного проєкту проводиться вибір основного варіанта конструкції споруди, що проектується, з урахуванням інфраструктури району майбутнього будівництва та наявності місцевих будівельних матеріалів, які можуть використовуватися при реалізації проєкту. Вибір оптимального варіанта споруди здійснюється, виходячи з його вартості, терміну будівництва, окупності та надійності споруди у процесі розрахункового терміну експлуатації на підставі техніко-економічного порівняння. Крім цього на остаточний вибір впливають і низка суб'єктивних факторів, пов'язаних із досвідом та кваліфікацією, проєктувальників.

Після завершення робочого проєкту він повинен піддаватися всебічній експертизі, якість якої також залежить від кваліфікації та практичного досвіду експертів з різних наукових галузей. Після усунення всіх зауважень експертів, робочі проєкти (робочі креслення) проходять обов'язкову процедуру затвердження.

Висновки.

1. Надійність морських гідротехнічних споруд залежить від надійності їх проєктів, контролю за якістю гідротехнічних робіт і будівельних матеріалів при їх зведенні, а також дотримання правил експлуатації в процесі терміну служби.

2. Аналіз аварій морських гідротехнічних споруд вищого класу відповідальності показує, що в розрахунках їхньої стійкості були використані необ'єктивні

вихідні дані. Насамперед це стосується фізико-механічних характеристик ґрунтів основ.

3. Досвід проектування морських гідротехнічних споруд довів, що найбільш надійним є три стадійне проектування, в якому вибір основного конструктивного варіанту відбувається на підставі техніко-економічного порівняння, розглянутих у технічному проекті конструкцій та їх планового розташування.

4. Порушення даної стадійності з метою економії коштів та часу на проекти, як показує практичний досвід, неминуче призводить до аварій споруд ще до завершення їх будівництва.

5. Відповідно до рекомендацій норм, проектування всіх типів гідротехнічних споруд, у тому числі й морських, повинно здійснюватися за належного наукового супроводу фахівцями вищої кваліфікації.

6. Виходячи зі світового досвіду проектування та будівництва морських нафтогазопромислових гідротехнічних споруд, вартість проектних робіт становить приблизно 10÷12% від їхньої вартості. При цьому на науковий супровід проектів витрачають приблизно 2–3% від загальної вартості. Слід зазначити, що загальна вартість таких споруд, залежно від глибини води в місці встановлення, може коливатися від одного до кількох мільярдів доларів США.

7. Удосконалення методів розрахунків, які як рекомендації включаються до нормативних документів, неможливе без цілеспрямованої державної фінансової підтримки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ Мінрегіонбуд України 2010.
2. БНіП 2.06.04-82*. Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден). К., 1995. 48 с. (діючий).
3. Вказівки до розрахунку навантажень та впливів від хвиль, суден та льоду на морські гідротехнічні споруди. Р 31.3.07-01, К., 2001.
4. Доповнення та уточнення БНіП 2.06.04–82* Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден), К., 1995.
5. ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво в сейсмічних районах України. К., 2014.
6. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К, 2018.
7. ДБН А. 2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва. К, 2008.

REFERENCES:

1. DBN V.2.4-3:2010 Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia. (2010). Kyiv Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
2. BNiP 2.06.04-82*. Navantazhennia ta vplyvy na hidrotekhnichni sporudy (khvylovi, lodovi ta vid suden). (1995). Kyiv: 48 s [in Ukrainian]. (diiuchy).
3. Vkazivky do rozrakhunku navantazhen ta vplyviv vid khvyl, suden ta lodu na morski hidrotekhnichni sporudy. (2001). R 31.3.07-01, Kyiv [in Ukrainian].
4. Dopovnennia ta utochnennia BNiP 2.06.04–82* Navantazhennia ta vplyvy na hidrotekhnichni sporudy (khvylovi, lodovi ta vid suden). (1995). Kyiv [in Ukrainian].
5. DBN V.1.1-12-2014. Budivnytstvo v seismichnykh raionakh Ukrainy. (2014). Kyiv [in Ukrainian].
6. DBN V.1.2-14-2018. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud . (2018). Kyiv [in Ukrainian].
7. DBN A. 2.1-1-2008. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva. (2008). Kyiv [in Ukrainian].

УДК 517.272, 517.912

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.28>

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ СУДНОПЛАВСТВА ТА ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

Соколовська Г. В. – старший викладач кафедри математики, фізики та астрономії
Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0001-8161-1660

Процеси, що відбуваються у світовій економіці, зокрема подорожчання енергоносіїв, актуалізація проблем екології, активізують пошук найефективніших способів доставки вантажів. У цьому сенсі морський транспорт має багато переваг і є дуже перспективним. У судноплавній галузі актуальною є задача оптимізації маршрутів, щоб мінімізувати транспортні витрати та зменшити час на доставку вантажів. Не менш важливими у зв'язку з цим є проблеми управління водними ресурсами, будівництва портів та прокладання водних шляхів, будівництва берегових, портових та морських гідротехнічних споруд. Основними завданнями гідротехнічного будівництва є підвищення міцності конструкцій та оптимізація витрат на їх спорудження. Математичні методи та моделі відіграють провідну роль у інженерних дослідженнях. Побудова математичної моделі передбачає виділення основних чинників досліджуваного процесу (вибір його параметрів та характеристик), визначення зв'язку між ними. Створення математичної моделі завершується тим, що вказані зв'язки записуються в аналітичній формі. Отримана цільова функція разом з додатковими умовами (рівняннями та нерівностями) досліджується методами математичного аналізу, зокрема теорії диференціальних рівнянь. Важливим етапом розв'язування задачі є аналіз отриманих результатів.

В роботі розглядаються деякі задачі гідротехнічного будівництва: питання про тиск води на греблю або шлюз та задача про розташування ґрунтових вод у дренажній системі. Розглянуто також задачі, що стосуються руху та маневрування суден, зокрема питання пошуку підводного човна за допомогою морського дрона, задача про рух двох кораблів відносно один одного. Задача про хитавицю судна є одним з питань теорії корабля. Для кожної з цих задач створено і досліджено відповідну математичну модель. Розгляд вказаних задач у курсі вищої математики сприяє кращому розумінню зв'язку математичної теорії з практикою та її значення у дослідженні фізичних процесів та інженерії.

Ключові слова: функція, диференціальна модель, оптимальний маршрут, гідротехнічна споруда.

Sokolovska H. V. Mathematical models of some problems of shipping and hydraulic engineering construction

The processes taking place in the global economy, including rising energy prices and environmental issues, are intensifying the search for the most efficient ways to deliver goods. In this sense, maritime transport has many advantages and is very promising. In the shipping industry, the task of optimizing routes to minimize transportation costs and reduce the time for cargo delivery is a pressing one. Equally important in this regard are the problems of water resources management, port construction and waterways, construction of coastal, port and marine hydraulic structures. The main tasks of hydraulic engineering construction are to increase the strength of structures and optimize the cost of their construction. Mathematical methods and models play a leading role in engineering research. Building a mathematical model involves identifying the main factors of the process under study (selecting its parameters and characteristics) and determining the relationship between them. The creation of a mathematical model is completed by writing these relationships in an analytical form. The resulting objective function, together with additional conditions (equations and inequalities), is investigated by methods of mathematical analysis, in particular the theory of differential equations. An important stage in solving the problem is the analysis of the results.

The paper considers some problems of hydraulic engineering construction: the problem of water pressure on a dam or a sluice and the problem of the location of groundwater in the drainage system. The paper also considers problems related to the movement and maneuvering of ships, in particular, the problem of searching for a submarine using a marine drone, the problem of the movement of two ships relative to each other. The ship pitching problem is one of the questions of ship theory. For each of these problems, a corresponding mathematical model was created

and studied. The consideration of these problems in a higher mathematics course contributes to a better understanding of the connection between mathematical theory and practice and its importance in the study of physical processes and engineering.

Key words: function, differential model, optimal route, hydraulic structure.

Постановка проблеми. Морські технології та водна інженерія з давніх давен нерозривно пов'язані з математикою. Математичні методи [1] є незамінним інструментом у інженерних розрахунках. Математичне моделювання застосовується для розв'язування багатьох задач механіки рідин та газів [2]. У технічному університеті математична освіта є не лише базовим елементом професійної освіти, вона сприяє розвитку мислення, отриманню необхідних навичок та компетентностей. Дослідники методики викладання математики [3] підкреслюють необхідність надання математичній освіті у технічному університеті більшої професійної спрямованості за умов збереження достатнього наукового рівня викладання. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні математичних моделей таких прикладних задач, що не вимагають від студента серйозної фахової підготовки і можуть бути включені в курс вищої математики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження дискретних та неперервних математичних моделей, проведене в монографії [4], характеризується широтою охоплення тем, розмаїттям прикладів починаючи від проблем економіки та моделей бойових дій до питань медицини та психології. Робота [5] присвячена моделям оптимізації гідродинамічного проектування форми корпусу судна. У статті [6] розглянуто застосування математичних методів в задачах архітектури та будівництва.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є математичне моделювання задач, гідротехнічного будівництва та судноплавства для використання їх в курсі вищої математики.

Виклад основного матеріалу. Найбільше можливостей у складанні прикладних задач або переосмисленні вже відомих надає диференціальне та інтегральне числення, теорія диференціальних рівнянь [7]. Розглянемо низку задач, що надають практичного змісту деяким питанням диференціального числення.

Задача 1. Два судна рухаються уздовж прямих, кут між якими дорівнює 60° . Одне знаходиться на відстані 12 км від точки перетину прямих і рухається до неї зі швидкістю 40 км/год, друге – на відстані 11 км і віддаляється від точки перетину зі швидкістю 10 км/год. З якою швидкістю у цей момент кораблі наближаються або віддаляються один від одного?

Позначимо через $\hat{I}$ точку перетину прямих. Нехай δ та Z – відстані першого та другого кораблів відповідно від цієї точки (рис. 1).

Відстань між суднами Z можна знайти за теоремою косинусів:

$$z^2 = x^2 + y^2 - 2xy \cos 60^\circ, \text{ отже } z = \sqrt{x^2 + y^2 - xy}.$$

Тоді швидкість, з якою змінюється ця відстань, $\frac{dz}{dt}$, обчислюється як похідна від складеної функції:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial z}{\partial y} \frac{dy}{dt} = \frac{2x - y}{2\sqrt{x^2 + y^2 - xy}} \frac{dx}{dt} + \frac{2y - x}{2\sqrt{x^2 + y^2 - xy}} \frac{dy}{dt}.$$

Для вказаного моменту часу t_0 маємо: $\delta(t_0) = 12$, $y(t_0) = 11$, швидкості кораблів: $\frac{dx}{dt} = -40$, $\frac{dy}{dt} = 10$ – сталі. Отже,

$$\frac{dz}{dt}(t_0) = \frac{2 \cdot 12 - 11}{2\sqrt{12^2 + 11^2 - 12 \cdot 11}} \cdot (-40) + \frac{2 \cdot 11 - 12}{2\sqrt{12^2 + 11^2 - 12 \cdot 11}} \cdot 10 = -\frac{210}{\sqrt{133}}.$$

Таким чином, у вказаний момент t_0 функція $z(t)$ спадає (кораблі зближуються) зі швидкістю $\frac{210}{\sqrt{133}}$ км/год. Зауважимо, що є момент часу, коли кораблі не наближаються й не віддаляються один від одного, у цей момент маємо: $\frac{dz}{dt}=0$. Ця рівність виконана при $\frac{-(2x-y)40+(2y-x)10}{2\sqrt{x^2+y^2-xy}}=0$ тобто $-3\delta+2\acute{o}=0$. Якщо тепер початковим моментом руху кораблів вважати t_0 , то закон руху першого судна має вигляд: $\delta=12-40t$, другого: $\acute{o}=11+10t$. Отже $t=\frac{12-x}{40}=\frac{y-11}{10}$, що означає: $\delta+4\acute{o}=56$. Тому залишається розв'язати систему рівнянь: $\begin{cases} -3\delta+2\acute{o}=0, \\ x+4y=56. \end{cases}$ Одержимо: $\delta=8$, $\acute{o}=12$. Отже, після 6 хвилин руху, коли перший корабель знаходитиметься на відстані 8 км від точки $\hat{I}$, а другий – на відстані 12 км, кораблі не наближаються й не віддаляються. Після цього моменту кораблі починають віддалятися один від одного. Це випливає з властивостей функції двох змінних $z=\sqrt{x^2+y^2-xy}$ або однієї змінної t : $z=\sqrt{2100t^2-420t+133}$, яку ми одержуємо, підставивши $\delta=12-40t$ та $\acute{o}=11+10t$. В неї є лише одна критична точка, адже її похідна $\frac{dz}{dt}=\frac{2100t-210}{\sqrt{2100t^2-420t+133}}$ має тільки один нуль $t=\frac{1}{10}$ год (6 хв) й при $t>\frac{1}{10}$ є додатною.

Особливе місце у прикладних задачах посідають так звані диференціальні моделі тобто математичні моделі, що зводяться до дослідження диференціальних рівнянь.

Задача 2. Нехай у деякий момент часу підводний човен помічено на відстані трьох миль від морського дрона. Човен одразу занурився і пішов у невідомому напрямку. Потрібно визначити таку траєкторію руху дрона, щоб у певний час він обов'язково опинився над човном. Відомо, що швидкість дрона удвічі більша за швидкість човна v .

Введемо полярні координати r та φ таким чином, щоб полюс $\hat{I}$ збігався з точкою, де було помічено човна, полярна вісь проходить через точку, де у цей момент знаходився дрон. Спершу дрон має зайняти таку позицію, щоб він та човен знаходилися на одній відстані від полюса, а потім йому потрібно рухатися навколо полюса уздовж такої траєкторії, щоб рівновіддаленість його та човна від полюса зберігалась. У цьому випадку дрон обов'язково пройде над човном. Отже, спочатку потрібно йти прямим курсом до точки $\hat{I}$, поки дрон не опиниться на тій же відстані x від полюса, що й човен. Цю відстань можна знайти з рівняння $\frac{x}{v}=\frac{3-x}{2v}$ або з рівняння $\frac{x}{v}=\frac{3+x}{2v}$. Отже, ця відстань дорівнює або одній або трьом милям. Тепер, якщо «зустріч» не відбулася, дрон має обертатися (у будь-якому напрямі) навколо полюса $\hat{I}$, віддаляючись від нього зі швидкістю підводного човна v .

Розкладемо вектор швидкості дрона $2\vec{v}$ на дві складові: радіальну $\vec{v}_r$ (напрявлену від полюса до дрона) та тангенціальну $\vec{v}_\theta$ (поперечну) (рис. 2).

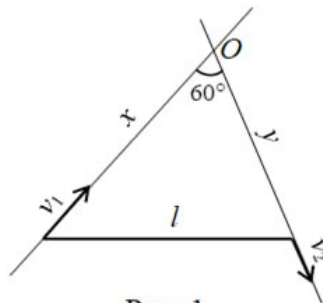


Рис. 1

Радіальна складова – це швидкість, з якою дрон віддаляється від полюса $v_r = \frac{dr}{dt}$, тобто $v_r = \frac{dr}{dt}$, тангенціальна швидкість – це лінійна швидкість обертання дрона навколо полюса, що, як відомо, є добутком кутової швидкості та полярного радіуса: $v_\theta = r \frac{d\varphi}{dt}$. Оскільки $v_r = v$, то за теоремою Піфагора маємо: $v_0 = \sqrt{(2v)^2 - v^2} = \sqrt{3}v$.

Отриману систему диференціальних рівнянь

$$\frac{dr}{dt} = v, \quad r \frac{d\varphi}{dt} = \sqrt{3}v$$

зводимо до одного рівняння з відокремленими змінними $\frac{dr}{r} = \frac{d\varphi}{\sqrt{3}}$ шляхом виключення змінної t . Його загальний розв'язок має вигляд $r = Ce^{\varphi/\sqrt{3}}$, де $\tilde{N}$ – довільна стала. Тепер, враховуючи, що дрон починає обертатися навколо полюса з точки $\varphi = 0, r = 1$ або $\varphi = \pi, r = 3$, маємо два види початкових умов, що дають відповідно такі значення сталої: $\tilde{N} = 1$ та $\tilde{N} = 3e^{-\pi/\sqrt{3}}$. Отже, для виконання бойової задачі маємо обрати одну з двох стратегій:

1) спочатку пройти прямим курсом до місця, де було помічено підводного човна, 2 милі а потім рухатися уздовж спіралі $r = e^{\varphi/\sqrt{3}}$, поки морський дрон не опиниться над підводним човном;

2) пройти прямим курсом 6 миль а потім рухатися уздовж спіралі $r = 3e^{(\varphi-\pi)/\sqrt{3}}$.

Задача 3. Корабель зупинився у тихій воді, накренившись на кут α , після чого почав рівномірно похитуватись по інерції. При цьому відомо, що швидкість зміни кута відхилення корабля φ від стану рівноваги змінюється за законом $\dot{\varphi} = -2\varphi - \varphi^2$. Визначити $\varphi(t)$.

З механічного змісту похідної випливає, що $\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$. Тоді шукана функція $\varphi(t)$ задовольняє диференціальне рівняння $\frac{d\varphi}{dt} = -2\varphi - \varphi^2$, що є рівнянням з відокремлюваними змінними. Знайдемо його загальний розв'язок: $\frac{d\varphi}{\varphi^2 + 2\varphi} = -dt$
 $\Leftrightarrow \int \frac{\varphi}{(\varphi+1)^2} d\varphi = -\int dt \Leftrightarrow -\frac{1}{\varphi+1} = -t + C$ або $\frac{\varphi}{\varphi+2} = \tilde{N}e^{-2t}$

($\tilde{N}$ – довільна стала). Враховуючи початкову умову $\varphi = \alpha$ при $t = 0$, маємо: $\frac{\alpha}{\alpha+2} = \tilde{N}e^0$. Розв'язок задачі Коші: $\frac{\varphi}{\varphi+2} = \frac{\alpha}{\alpha+2}e^{-2t}$. Виразивши φ з останнього рівняння, одержимо явну залежність кута нахилу від часу: $\varphi = \frac{2\alpha}{(\alpha+2)e^{2t} - \alpha}$. Як бачимо, $\varphi \rightarrow 0$ якщо $t \rightarrow +\infty$, отже хитавиця з часом вгасає.

У архітектурі та будівництві також широко використовуються математичні методи. Дослідження ґрунтових вод, що впливають на фундаментні конструкції, є однією з найважливіших задач гідротехнічного будівництва. Для зниження рівня ґрунтових вод будують дренажні колодязі. Математичну основу для цих досліджень становить векторний аналіз, теорія поля. Однак, деякі нескладні питання можна запропонувати студентам, які не знайомі поки що з теорією поля.

Задача 4. Визначити рівняння кривої, вздовж якої проходить рівень ґрунтових вод поблизу круглого колодязя з непроникним шаром ґрунту на дні (рис. 3). Відомо, що швидкість течії води у точці P фільтруючого шару пропорційна нахилу шуканої кривої у точці P , розташованої на одній вертикалі з P . Діаметр колодязя дорівнює $2r$, висота води у ньому – h .

На рисунку 3: AB – поверхня землі, CD – рівень водонепроникного шару, EF – рівень води в колодязі, FN та FN – криві рівня ґрунтових вод за наявності колодязя. Поверхня рівня ґрунтових вод є поверхнею обертання кривої FN (або ME) навколо осі $\hat{I} \hat{O}$. Шукатимемо рівняння $y = y(x)$ кривої FN . Кутом нахилу кривої до осі абсцис називають кут нахилу її дотичної до додатного напрямку осі $\hat{I} \hat{O}$ (тангенс цього кута дорівнює $\frac{dy}{dx}$).

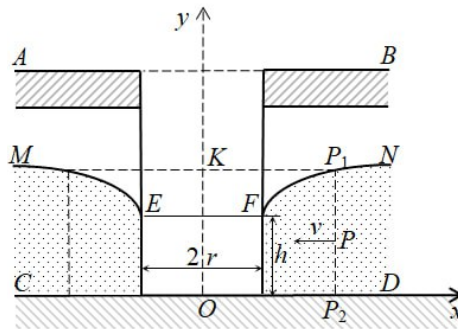


Рис. 3

За умовою $v = k \frac{dy}{dx}$, k – коефіцієнт пропорційності. Розглянемо циліндр, утворений обертанням прямокутника OKP_1P_2 навколо осі $\hat{I} \delta$. Через його бічну поверхню протікає така кількість води: $Q = S_{\text{біч}} v$ (вона називається витратою потоку). Знайдемо бічну поверхню циліндра: $S_{\text{біч}} = 2\pi r y$. Маємо диференціальне рівняння з відокремлюваними змінними відносно $y(x)$:

$$2\pi \delta \omega k \frac{dy}{dx} = Q.$$

Розв'яжемо його: $2\pi \delta \omega k \frac{dy}{dx} = Q \Leftrightarrow \delta y = \frac{Q}{2\pi k} \frac{dx}{x} \Leftrightarrow \int \delta y = \frac{Q}{2\pi k} \int \frac{dx}{x}$. Загальний інтеграл рівняння: $y^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln x + C$, C – довільне дійсне число. Звернімо увагу на те, що при $\delta = r$ маємо: $y = h$. Скористаймося цим як початковою умовою: $h = \sqrt{\frac{Q}{\pi k} \ln r + C}$, звідки $C = h^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln r$. Отже, шукане рівняння кривої FN має вигляд: $\delta^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \delta - \frac{Q}{\pi k} \ln r + h^2$ або $y^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x}{r} + h^2$.

Ще одна важливе питання гідротехнічного будівництва може бути запропоноване в курсі вищої математики – це задача дослідження тиску води на греблю.

Задача 5. Гребля має форму прямокутника, одна зі сторін якого $a = 30$ м лежить на поверхні води, довжина вертикальної сторони $b = 5$ м. На якій глибині потрібно розділити цей прямокутник горизонтальною прямою на дві частини так, щоб сила тиску води на них була однаковою.

Введемо систему координат так, щоб вісь $\hat{I} \delta$ проходила уздовж вільної поверхні води, а вісь $\hat{I} \delta$ була напрямлена перпендикулярно до неї углиб води. Згідно з законом Паскаля, сила тиску води на вузьку смужку ширини dx , розташовану на глибині x , пропорційна добутку x та площі цієї смужки $30dx$: $dF = 30\rho g x dx$ (ρ – густина води, g – прискорення вільного падіння). Сила тиску води на верхню відносно горизонтальної прямої $\int_{x_0}^5 dF$ частину греблі виражається визначеним інтегралом $\int_{x_0}^5 dF$, а на нижню – інтегралом $\int_0^{x_0} dF$. Отже x_0 потрібно вибрати так, щоб виконувалась рівність:

$$30\rho g \int_0^{x_0} x dx = 30\rho g \int_{x_0}^5 x dx \text{ або } \frac{x^2}{2} \Big|_0^{x_0} = \frac{x^2}{2} \Big|_{x_0}^5,$$

$$\text{з якої знайдемо: } x_0^2 = 25 - x_0^2 \Leftrightarrow 2x_0^2 = 25 \Leftrightarrow x_0 = \frac{5\sqrt{2}}{2}.$$

Отже, шукану лінію слід провести на глибині $\frac{5\sqrt{2}}{2}$ м.

Ускладнимо задачу таким чином: на яких глибинах потрібно розділити греблю на n смужок так, щоб сила тиску води на усі смужки була однаковою?

Нехай x_k , $k=1,2,...,n$, – шукані глибини (x_n дорівнює висоті греблі b), p_k – шукані тиски ($p_1 = p_2 = ... = p_n$, $p_1 + p_2 + ... + p_n = P$, де P – сила тиску води на греблю). Зауважимо, що $p_1 + p_2 + ... + p_k = \frac{kp}{n}$, тому маємо:

$$\int_0^{x_1} x dx + \int_{x_1}^{x_2} x dx + ... + \int_{x_{k-1}}^{x_k} x dx = \frac{kp}{n} = \frac{k}{n} \int_0^b x dx \text{ або } \int_0^{x_k} x dx = \frac{k}{n} \int_0^b x dx.$$

Тоді $\left. \frac{x^2}{2} \right|_0^{x_k} = \frac{k}{n} \cdot \left. \frac{x^2}{2} \right|_0^b$. Остаточню одержимо: $x_k^2 = \frac{k}{n} b^2$. Таким чином, лінії поділу мають бути проведені на таких глибинах $x_k = \sqrt{\frac{k}{n}} b$, $k=1,2,...,n$.

Висновки. Розвиток України як морської держави передбачає вдосконалення технологій та підвищення якості підготовки фахівців у морській галузі. Зміст математичної освіти в технічному університеті зазнає суттєвих змін, пов'язаних з новими освітніми стандартами, що вимагають від неї більшої професійної спрямованості. Розглянуті задачі прикладного характеру допомагають сформувати у студентів бачення того, як вони можуть застосувати математичні знання у своїй майбутній професійній діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., і Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем. Вінниця: ПП «ТД Едельвейс», 2017. 804 с.
2. Колчунов В.І. Теоретична і прикладна гідромеханіка. Київ, 2004. 336 с.
3. Слєпкань З.І. Наукові засади педагогічного процесу у вищій школі. Київ: НПУ, 2000. 210 с.
4. Banerjee S. Mathematical modeling. New York, 2021. 433 с. <https://doi.org/10.1201/9781351022941>
5. Yang C.&Huang F. (2016). An overview of simulation-based hydrodynamic design of ship hull forms. *Journal of Hydrodynamics*, 28(6), 947–960. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60696-0](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60696-0)
6. Сиваш С.Б., Соколовська Г.В. (2023). Вища математика в задачах будівництва та архітектури. *Наука і техніка сьогодні*, 14(28), 446-458. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14\(28\)-446-458](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14(28)-446-458)
7. Кирилов С.О., Кусік Л.І., Сиваш С.Б., і Соколовська Г.В. Вища математика (частина 1). Київ: Глобус, 2020. 175 с.

REFERENCES:

1. Dubovoi V. M., Kvietnyi R. N., Mykhalov O. I., i Usov, A. V. (2017) Modeliuvannia ta optymizatsiia system [Modeling and optimization of systems]. Vinnytsia: PP «TD Edelweis», 804 p. [in Ukrainian].
2. Kolchunov V.I. (2004) Teoretychna i prykladna hidromekhanika [Theoretical and applied hydromechanics]. Kyiv, 336 p. [in Ukrainian].
3. Slepkan, Z.I. (2000) Naukovi zasady pedahohichnoho protsesu u vyshchii shkoli [Scientific basis of the pedagogical process in higher education]. Kyiv: NPU, 210 p. [in Ukrainian].
4. Banerjee S. (2021) Mathematical modeling. New York, 433 p. [in English]. <https://doi.org/10.1201/9781351022941>
5. Yang C.&Huang F. (2016). An overview of simulation-based hydrodynamic design of ship hull forms. *Journal of Hydrodynamics*, 28(6), 947–960 [in English]. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60696-0](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60696-0)
6. Syvash S.B., Sokolovska H.V. (2023). Vyshcha matematyka v zadachakh budivnytstva ta arkhitektury [Higher mathematics in problems of construction and architecture]. *Nauka i tekhnika sohodni*, 14(28), 446-458. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14\(28\)-446-458](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-14(28)-446-458)
7. Kyrilov S.O., Kusik L.I., Syvash S.B., Sokolovska H.V. (2020) Vyshcha matematyka (chastyna 1) [Higher mathematics (part 1)]. Kyiv: Hlobus, 175 p. [in Ukrainian].

UDC 624.01

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.29>

PRESTRESSING OF CONCRETE STRUCTURES USING THE DURING – TENSIONING METHOD

Chekanovych M. G. – Candidate of Technical Science,
Associate Professor at the Department of Construction, Architecture and Design
of the Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109

The improvement of building structures, development of alternative methods of prestressing, expansion of the boundaries of technological approaches create opportunities for the rational use of construction materials, contribute to increasing efficiency in construction. Such methods are based on physical laws, provisions of theoretical and building mechanics, resistance of materials and take into account the properties of building materials and the practice and experience of manufacturing and operating building structures.

Prestressed concrete structures are usually manufactured according to post-or pretensioning technology. There are a great number of proposals as to the application of these technologies. The majority of them are well studied, and some of the best ones find their practical use. Almost all these suggestions can be united according to the principle of the steel prestressing transfer, namely onto the strong hardened concrete. The possibilities of manufacturing more effective prestressed reinforced concrete structures in the limited frames of the single principle are in many respects exhausted. Many specialists think it is the reason for slowing down progress in this direction. We need here qualitative transition to new concepts in the sphere of prestressed concrete to have precedents for rapid flourishing of ideas and developments.

The author has proposed and put into practice the principle of prestressing transfer onto the freshly placed concrete mix of structures. In this case prestressing is transferred already at the stage of cement concrete mix.

The new production technology has led us to the possibility of increasing concrete strength in prestressed structures up to 50-70 per cent. It is achieved due to the compressing of unset concrete mix during the operation of steel tensioning. A wide range of research and practical studies has shown that the given technology provides necessary steel pretensioning and uniform or predetermined concrete mix compaction as well as further hardening of concrete in a structure.

Taking the experimental research data as a basis, we can state that the self-organization of concrete structure at the stage of mix prestressing, effective bond between concrete and steel, preservation of the force of prestressing – all this becomes a guarantee for high strength and quality of the concrete elements proposed. Industrial application of prefabricated bridge elements with prestressing onto the concrete mix has proved the expediency of the method developed.

Key words: prestressed concrete, beam, column, compressed mix, pretension, during-tensioning, posttension, formwork.

Чеканович М. Г. Попереднє напруження залізобетонних конструкцій за методом на бетонну суміш

Удосконалення будівельних конструкцій, розробка альтернативних методів попереднього напруження, розширення границь технологічних підходів створюють можливості для раціонального використання будівельних матеріалів, сприяють підвищенню ефективності в будівництві. Такі методи базуються на фізичних законах, положеннях теоретичної і будівельної механіки, опору матеріалів та враховують властивості будівельних матеріалів і практику й досвід виготовлення та експлуатації будівельних конструкцій.

Попередньо напружені залізобетонні конструкції виготовляють, як правило, за технологією попереднього натягу арматури на упори або на затверділий бетон. Існує велика кількість пропозицій щодо реалізації цих технологій. Більшість із них добре вивчені, а деякі з кращих знаходять своє практичне застосування. Майже всі ці пропозиції можна об'єднати за принципом передачі попереднього напруження сталі саме на затверділий міцний бетон. Можливості виготовлення більш ефективних попередньо напружених залізобетонних конструкцій в обмежених рамках єдиного принципу багато в чому вичерпані. Багато фахівців вважають це причиною уповільнення прогресу в цьому напрямку. Тут потрібен якісний перехід до нових концепцій у сфері попередньо напруженого бетону, щоб мати прецеденти швидкого розквіту ідей та розробок.

Автором запропоновано та реалізовано принцип передачі попереднього напруження на свіжоукладену бетонну суміш конструкцій. У цьому випадку попереднє напруження передається на стадії цементобетонної суміші.

Нова технологія виробництва привела нас до можливості підвищення міцності бетону в попередньо напружених конструкціях до 50–70 відсотків. Це досягається за рахунок стиснення несхопленої бетонної суміші під час операції натягу сталі. Широкий спектр досліджень і практичних застосувань показали, що дана технологія забезпечує необхідне попереднє напруження сталі та рівномірне або задане ущільнення бетонної суміші, а також наступне твердіння бетону в конструкції.

Взявши за основу дані експериментальних досліджень, можна стверджувати, що самоорганізація структури бетону на етапі попереднього напруження суміші, якісна адгезія бетону зі сталлю, збереження сили попереднього напруження – все це стає запорукою високої міцності та якості запропонованих бетонних елементів. Промислове застосування збірних мостових елементів з попереднім напруженням на бетонну суміш довело доцільність запропонованого методу.

Ключові слова: *попередньо напружений бетон, балка, колона, пресована суміш, попереднє напруження на упори, попереднє напруження на бетонну суміш, попереднє напруження на бетон, опалубка.*

Introduction. The improvement of construction structures, development of alternative methods of prestressing, expansion of the boundaries of technological approaches create opportunities for the rational use of construction materials, contribute to increasing efficiency in construction. Such methods are based on physical laws, provisions of theoretical and building mechanics, resistance of materials and take into account the properties of building materials and the practice and experience of manufacturing and operating building structures [1–3]. The new methodology of prestressing structures has led us to the possibility of increasing the strength of concrete in prestressed structures up to 50-70 percent.

Analysis of recent research and publications. Prestressed concrete structures are usually made according to the pre-tensioning or post-tensioning technology [1–5]. There have been developed a great number of proposals as to the realization of these methodologies. The majority of them are well studied, and some of the best ones find their practical application. Almost all these suggestions can be united according to the principle of the steel prestressing transfer, namely onto the strong hardened concrete. The possibilities of manufacturing more effective prestressed reinforced concrete structures in the limited frames of the single principle are in many respects exhausted. Many specialists think it is the reason for slowing down progress in this direction [2–6]. We need here qualitative transition to new concepts in the sphere of prestressed concrete to have precedents for rapid flourishing of methods and developments.

Statement of the problem. Traditional methods of prestressing reinforced concrete structures do not significantly affect the strength of the structures. The strength of the structures remains a reserve for improving efficiency in construction. It is time to develop and research new methods of prestressing reinforced concrete structures that significantly increase their strength.

The purpose of the research. The purpose of the scientific research is to develop and investigate a new method of prestressing reinforced concrete structures that significantly increases the strength of structures through technological solutions.

Presentation of the main research material. New technology. The author has proposed and put into practice the principle of prestressing transfer onto the freshly placed concrete mix of structures (Fig. 1). In this case prestressing is transferred at the stage of the mix of cement concrete components.

After vibrodynamic compaction, the placed unset mix is under compression of the steel prestressing force, and it hardens under the pressure. All this leads to the concrete

mix compaction, the removal of water excess and air from the mix, to eliminating macro- and partly microdefects of the concrete structure, and to restraining destructive (degradation) processes during concrete hardening.

Concrete

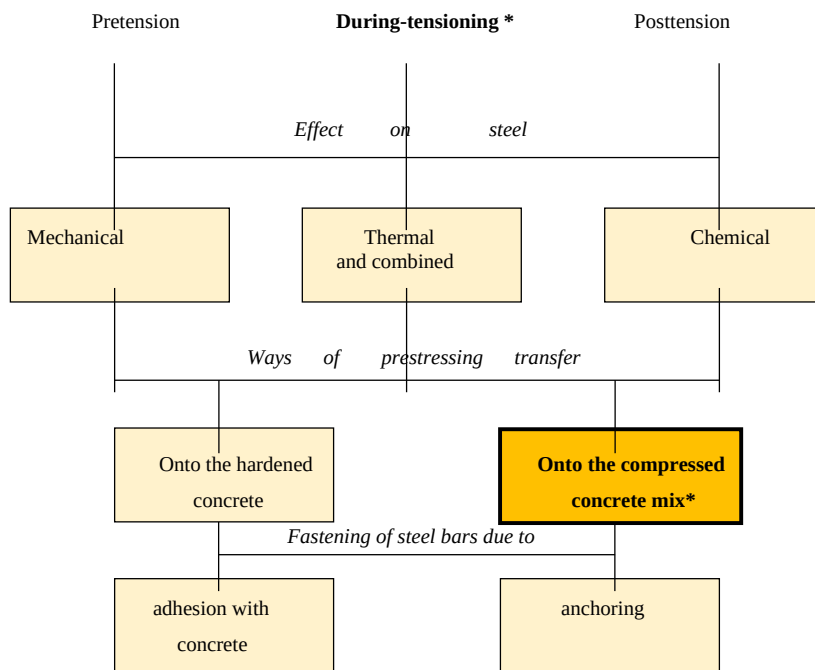


Fig. 1. Extended scheme of methods of carrying out prestressing in reinforced concrete structures

Steel prestressing is preserved, for after the compaction of the specially proportioned concrete mix, rather a strong and rigid skeleton of solid ingredients is formed, and the stressed steel is then fixed onto this skeleton (Fig. 1). It is also possible to partially transfer steel prestressing onto the concrete mix. The implementation of the new technology method of concrete mix prestressing became possible after the author had invented original movable forms and devices for a full or partial prestress transfer [6, 7].

Experimental results. According to the prestressing method proposed there have been made experimental beams with rectangular cross section and dimensions of 100x200x2000mm and columns with round cross section with a diameter of 250 mm and length of 1500 mm. For comparison, under all equal conditions there were also produced traditional prestressed elements and usual reinforced concrete ones. The results of beam and column tests are graphically presented on Fig. 2. For the experimental beams with $\mu=2.2$ per cent we have reached an increase in carrying capacity up to 25–34 per cent due to the compression according to the new method. The effect of carrying capacity increase in columns amounted to 75 per cent. It is illustrated graphically on Fig. 3, where K is the ratio of the carrying capacity of a reinforced concrete element compressed according to the "during-tensioning" method to the regular one.

The analysis of the results shows that the losses of steel prestressing caused by deformations due to shrinkage and concrete creep are less than in traditional structures. The prism strength of concrete after the compression increased up to 2.2 times compared to the initial one. The most intensive strength growth was marked under the pressure value up to 6 MPa. The values of elasticity modulus E_c and relative deformations ε_{cR} increased by 40–50 per cent.

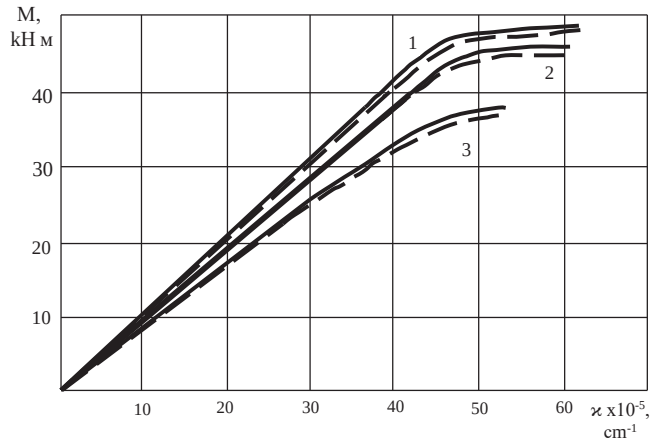


Fig. 2. Typical "M – α " relationship for the beams with $\mu = 2.2\%$ when $P = 5$ MPa – 1, $P = 2.5$ MPa – 2 and $P = 0$ – 3

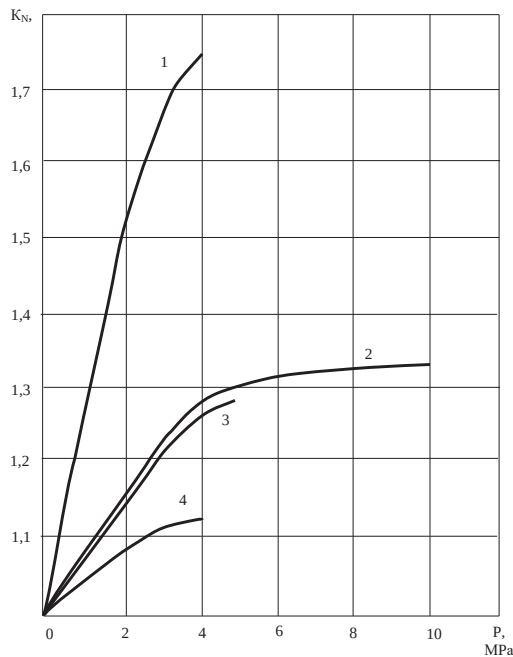


Fig. 3 Diagram "K – P" 1 – for columns; 2 – for the beams with $\mu = 2.2\%$ and $P = 10$ MPa; 3 – for the beams with $\mu = 2.2\%$ and $P = 5$ MPa; 4 – for the beams with $\mu = 0.6\%$

Theoretical analysis. According to the research data obtained by the author, to preserve the force of steel prestressing we should use in the structures proposed concrete with contacting location of grains of strong coarse aggregate. Here the greater part of the prestressing force is transferred contactingly through thin mortar membranes in a grain-to-grain way (Fig. 4).

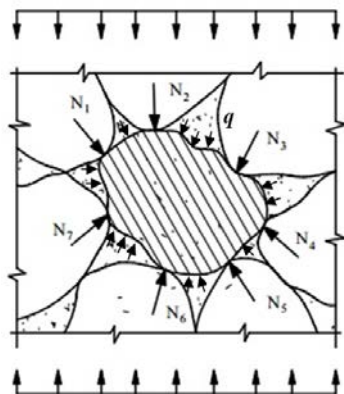


Fig. 4. Scheme of loading coarse aggregate grains

To get a strength formula for prestressed reinforced concrete of a matrix-carcass structure the author has suggested that one should proceed (besides the well-known premises) from the fact that the value of failure loading depends on the crushability of grain mix of coarse aggregate as an integral characteristic of its strength. The influence of precompression on the concrete mix is revealed in additional loading of the skeleton of coarse aggregate grains.

Taking into account the above mentioned and proceeding from the well-known premises, there has been obtained the following formula of the strength of prestressed concrete (using the during-tensioning method) with a matrix-carcass structure:

$$f_c = \left(K_n \frac{q}{K_{cr}} + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_{ct} \cdot f_{m,ct} - c \sigma_N \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - K_E \cdot n} - K_V r \right) \quad (1)$$

where

$$K_{ct} = 1 + \alpha_1 \ln 9,8p, \quad (2)$$

$$K_E = 1 + \alpha_2 \ln 9,8p, \quad (3)$$

$$n = \frac{E_m}{E_{ag}}, \quad (4)$$

$$K_V = 1 - 0.027 p^{0.46}, \quad (5)$$

$$r = \frac{V_m}{V_c} \quad (6)$$

Here K_n – index reflecting the change in the structure of coarse aggregate under crushability (0.2–0.36); q – value of standard loading while determining the crushability of coarse aggregate grains (11.32 MPa); K_{cr} – crushability index of coarse aggregate grains placed as in concrete, i.e. it may be filling, vibrocompaction, dynamic effect with

loading; K_1 , K_2 , and K_3 – corresponding indices of form (1.27–1.55), relief (1.18–1.40) and microrelief (1–1.41) of aggregate grains; p – value of pressure action on the cement-sand mortar; $f_{m,ct}$ – tensile strength of the usual uncompressed mortar; $c\sigma_N$ – value of pressure acting on the coarse aggregate; E_m and E_{ag} – elasticity modulus of mortar (matrix) and aggregate material; K_v – compaction index of the mortar, $a_1 = 0.18$ and $a_2 = 0.10$ for concrete and mortar.

According to the given formula it is possible to calculate concrete strength under a full or partial transfer of prestressing σ_N on the concrete mix. If prestressing is relieved after compaction, and it doesn't further load the carcass of coarse aggregate, the value C is to equate with 0. Besides, in this formula the value of the P parameter for the usual uncompressed concrete with a carcass arrangement of coarse aggregate grains equals 0.

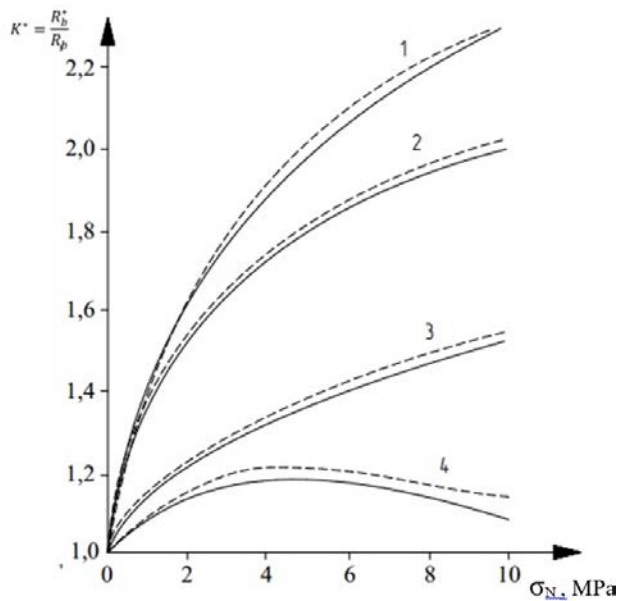


Fig. 5. Diagram “ $k-\sigma_N$ ”

————— experimental; - - - - - theoretical

1 – compressed under dynamic influence and its further relieving; 2 – the same operation, under preserving the stress of compression; 3 – compression without dynamic influence with its further relieving; 4 – the same operation under preserving the stress of precompression

In Fig. 5. there are typical plots showing dependence of the index of concrete strength increase on the value of prestressing and the mode of its application. The comparison of analysis dependences with experiments testify to their being in agreement. The given formula shows satisfactory results in practical application. It takes into account the transfer of prestressing onto concrete mix both in cases of its preserving and relieving.

Production implementation. The level of research includes production implementation. Large 30-ton bridge elements of prestressed concrete made by compressing the unset concrete mix with the force of steel tensioning are successfully used in Ukraine (Fig. 6).

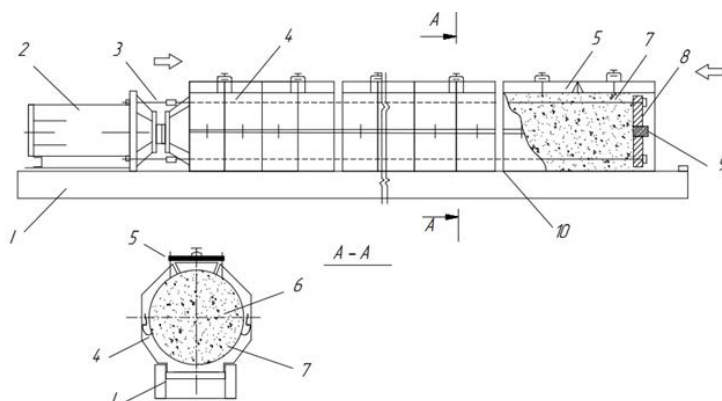


Fig. 6. Scheme of compressing the pillar in the formwork according to the "during-tensioning" method 1 – frame, 2 – tensioning device, 3 – tie-rods, 4 – section formwork, 5 – functional joint, 6 – concrete mix, 7 – reinforced bar, 8 – movable end of the formwork, 9 – concrete cube sampling form, 10 – deformation seams

Favoring practical application of the above mentioned elements was the device invented by the author, which provides reliable control over the quality of the compressed concrete directly in the product (Fig. 6) [7]. Service observations of the reinforced concrete pillars made according to the technology offered in the pillars of the trestle part of a large bridge over the river Dnipro in the town of Kamianske (Ukraine) confirmed high quality of the structures compressed according to the "during-tensioning" method.

Conclusions and suggestions. Based on the research findings, we can state that self-organization of concrete structure at the stage of mix prestressing, effective adhesion between concrete and steel, preservation of the force of prestressing – all this becomes a guarantee for high strength and quality of the concrete elements offered. Industrial application of prefabricated bridge elements with prestressing onto the concrete mix has proved the expediency of the method proposed.

The current level of the method development allows recommending for the lot production the following reinforced concrete structures: columns and pillars, piers, bulky foundation elements, some beams, thick slabs for bridges, airfields and motorroads, curbstones, railway sleepers.

We expect that further experimental research and perfection of the during-tensioning method will make it possible to broaden the list of economically expedient compressed reinforced structures. The lot production of the structures compressed according to the during – tensioning method, and tested in practice, will hopefully contribute to the progress in construction.

BIBLIOGRAPHY:

1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1. Brussels: CEN,-2004. P.30-82.
2. Leonhard F. "Spannbeton" für die Praxis. Wyd.3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 1973, 246 p. 4.
3. Бабич Є.М., Бабич В.Є. 3. Розрахунок і конструювання залізобетонних балок: навчальний посібник/ Є.М. Бабич, В.Є. Бабич. 2-ге видання, перероблене і доповнене. Рівне: НУВГП, 2017. С. 19-62.

4. Chekanovych M. Stress-Strain state of reinforced concrete beams strengthened with a flexible rod-roller system – AIP Conference Proceedings, 2023 С. 65-69.
5. High performance concrete structures/ M. Chekanovych //Life cycle assessment, behavior and properties of concrete and concrete structures. Proceeding of International Conference. 2004, Brno, Czech Republic, P. 130-135.
6. Чеканович М. Г. Метод попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що підвищує їх міцність. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 2. С. 57-62.*
7. Залізобетонні конструкції з натягом арматури на бетонну суміш: монографія / Мечислав Чеканович: Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса: Олді +, 2024. 146 с.

REFERENCES:

1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General rules and rules for building: EN 1992-1. Brussels: CEN, 2004. P.30-82.
2. Leonhard F. (1973) "Spannbeton" für die Praxis. Wyd.3. Ernst u. Sohn, Berlin-München-Dusseldorf, 246 p. 4.
3. Babych Ye.M., Babych V.Ie. (2017) Rozrakhunok i konstruiuvannia zalizobetonnykh balok: navchalnyi posibnyk/ Ye.M. Babych, V.Ie. Babych. 2-he vydannia, pereroblene i dopovnene. Rivne: NUVHP, S. 19-62.
4. Chekanovych M. (2023) Stress-Strain state of reinforced concrete beams strengthened with a flexible rod-roller system – AIP Conference Proceedings, S. 65-69.
5. High performance concrete structures/ M. Chekanovych //Life cycle assessment, behavior and properties of concrete and concrete structures. Proceeding of International Conference. 2004, Brno, Czech Republic, P. 130-135.
6. Chekanovych M. H. (2022) Metod poperednoho napruzhennia zalizobetonnykh konstruktсии, shcho pidvyshchuie yikh mitsnist. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Tekhnichni nauky. Kherson : Vydavnychiy dim «Helvetyka», Vyp. 2. S. 57-62.
7. Zalizobetonni konstruktсии z natiahom armatury na betonnu sumish: monohrafiia / Mechyslav Chekanovych: Khersonskiy derzhavnyi ahrarno-ekonomichnyi universytet. Odesa: Oldi +, 2024 146 s.

ЗМІСТ

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	3
Antonenko A. V., Solobaiev S. H., Balvak A. A., Mishkur Yu. V., Prykhodko A. P. Aspects of using neural networks to improve the quality of images	3
Богом'я В. І., Бараненко О. О., Жуков Є. В. Розвиток постквантової криптографії за рахунок використання алгебри підписів (signature algebra)	11
Вакалюк Т. А., Фант М. О., Єфремов Ю. М., Фаррахов О. В., Жиляєв Є. В. Теоретичні основи відстеження подій у розподілених системах	20
Ziuziun V. I., Starodubets V. A. Application of set theory for the mathematical justification of developing an iot system for automated soil moisture monitoring.....	29
Клепцов А. А., Гусева-Божаткіна В. А. Вразливості ігрових античитів: аналіз безконтактної автоматизації ігрових дій із використанням зовнішніх пристроїв ..	40
Лендюк Д. Т., Ліп'яніна-Гончаренко Х. В. Ансамблеве навчання класифікаторів для онлайн виявлення дезінформації	46
Маринич І. А., Харламенко В. Ю. Моделювання та дослідження транспортних потоків за допомогою клітинних автоматів	64
Ольховська О. В., Кошова О. П., Черненко О. О., Тур В. М. Розробка мобільного автоматизованого агрегатора вакансій в ІТ-галузі.....	72
Парфененко Ю. В., Пугач О. А. Інформаційна система рекомендації косметичних засобів по догляду за шкірою	81
Сгадов С. О. Моделювання передачі інфрачервоного сигналу в системах імітації стрілецького бою.....	92
Серденко Т. В., Рейс Т. Т., Панченко О. Д. Інформаційні технології як ключовий інструмент у STEM-освіті: сучасний стан і перспективи	99
Symonov D. I., Zaika B. Yu., Symonov Ye. D. Multi-output regression models for controlling multicomponent dynamic systems.....	106
Сімоненко А. В. Обґрунтування вибору дисципліни обслуговування заявок у розподілених системах обробки інформації.....	120
Твердохліб А. О., Антоненко А. В. Особливості розподіленого брокеру Trinity на основі технології блокчейн	130
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ.....	139
Строєва В. О., Пузік А. О. Дослідження проблем оптимізації складних систем в умовах невизначеності.....	139
Фордзюн Ю. І., Жигуц Ю. Ю., Кабачій В. М., Проц Л. А., Бродович Ю. Р., Максютова О. В. Проблематика формування функціональності та безпеки засобів захисту рук системи «знаряддя праці – механік – механічна інженерія» ..	148
ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ.....	158
Вогнівенко Л. П., Шерман А. А., Ланевич Л. І. Ферментація як ключ до підвищення харчової цінності: дослідження впливу на йогурти та квашені овочі...	158
Горач О. О. Дослідження санітарно-гігієнічних вимог до харчових підприємств в Україні та в країнах ЄС.....	167

Дзюндзя О. В., Велнечук О. О. Дослідження різних сортів гарбуза для використання у харчовій промисловості	174
Каменева Н. В., Манолі Т. А., Баришева О. О., Скляр В. Ю., Нікітіна Я. С. Методологія сенсорного аналізу в удосконаленні технології медових вин	181
Каменева Н. В., Веречук О. А., Афанасьєва Т. М. Аналіз сучасного органолептичного профілю вин з винограду сорту рислінг рейнський, виробленого в умовах кліматичних змін	187
Ляхович П. С., Нєміріч О. В., Кузьмін О. В., Мамченко Л. Є., Наконечна А. С., Мурзін А. В. Адаптація технології стародавніх кондитерських виробів у ресторанному господарстві	198
Приліпко Т. М., Косташ В. Б., Ткач Л. В. Застосування порошка із моркви столової при виробництві хліба	208
Соломон А. М. Напрями створення комбінованих продуктів у сироробстві	214
Сумська О. П., Поліщук Б. С., Іщенко О. В. Оцінка біотехнологічного потенціалу антоціанів виноградної сировини сорту одеський чорний	222
ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ	234
Kravchenko V. I., Kravchenko V. P. Research into the thermal characteristics of granular fuel made from sewage sludge	234
Литвиненко В. В., Андрєєвська Г. М., МIRONENKO І. М. Визначення надійності морських гідротехнічних споруд на етапі проектування	241
Соколовська Г. В. Математичні моделі деяких задач судноплавства та гідротехнічного будівництва	248
Chekanovych M. G. Prestressing of concrete structures using the during – tensioning method	254

CONTENTS

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY	3
Antonenko A. V., Solobaiev S. H., Balvak A. A., Mishkur Yu. V., Prykhodko A. P. Aspects of using neural networks to improve the quality of images	3
Bohomia V. I., Baranenko O. O., Zhukov E. V. Development of post-quantum cryptography accounting for the possibilities of signature algebra	11
Vakaliuk T. A., Fant M. O., Iefremov Yu. M., Farrakhov O. V., Zhyliayev Ye. V. Theoretical foundations of event tracking in distributed systems	20
Ziuziun V. I., Starodubets V. A. Application of set theory for the mathematical justification of developing an iot system for automated soil moisture monitoring.....	29
Klieptsov A. A., Guseva-Bozhatkina V. A. Weaknesses of gaming anti-cheat systems: an analysis of contactless automation of gameplay using external devices.....	40
Lendiuk D. T., Lipianina-Honcharenko Kh. V. Online learning with sliding windows for text classifier ensembles.....	46
Marynych I. A., Kharlamenko V. Yu. Modeling and investigation of transport flows using cellular automata	64
Olkhovska O. V., Koshova O. P., Chernenko O. O., Tour V. M. Development of a mobile automated vacancy aggregator in the IT industry.....	72
Parfenenko Yu. V., Puhach O. A. Information system for recommendations of cosmetic skin care products	81
Sgadov S. A. Modeling of infrared signal transmission in firearms combat simulation systems	92
Serdenko T. V., Rejs T. T., Panchenko O. D. Information technologies as a key tool in STEM education: current state and prospects	99
Symonov D. I., Zaika B. Yu., Symonov Ye. D. Multi-output regression models for controlling multicomponent dynamic systems.....	106
Simonenko A. V. Justification for choosing a discipline for servicing requests in distributed information processing systems.....	120
Tverdokhlib A. O., Antonenko A. V. Features of trinity distributed broker based on blockchain technology	130
SYSTEM ANALYSIS	139
Stroieva V. O., Puzik A. O. Study of optimization problems of complex systems under conditions of uncertainty	139
Fordzyun Yu. I., Zhiguts Yu. Yu., Kabatsii V. M., Proc L. A., Brodovych Yu. R., Maksyutova O. V. Problems of forming the functionality and safety of hand protective equipment in the system “work tools-mechanics-mechanical engineering”	148
FOOD TECHNOLOGY	158
Vohnivenko L. P., Sherman A. A., Lanevych L. I. Fermentation as a key to enhancing nutritional value: a study of its impact on yogurts and fermented vegetables...	158

Horach O. O. Research of sanitary and hygiene requirements for food enterprises in Ukraine and in EU countries.....	167
Dzyundzha O. V., Velnechuk O. O. Research of different pumpkin varieties for use in the food industry	174
Kameneva N. V., Manoli T. A., Barysheva O. O., Skliar V. Yu., Nikitina Ya. S. Methodology of sensory analysis in improving the technology of honey wines.....	181
Kameneva N. V., Verechuk O. A., Afanasieva T. M. Analysis of the modern organoleptic profile of wine from the grape variety of Riesling Reysky, produced in conditions of climate change	187
Liakhovych P. S., Niemirich O. V., Kuzmin O. V., Mamchenko L. Ye., Nakonechna A. S., Murzin A. V. Aptation of technology of ancient confectionery products in the restaurant industry.....	198
Prylipko T. M., Kostash V. B., Tkach L. V. Use of carrot powder in bread production	208
Solomon A. N. Directions of creation of combined products in cheese makers.....	214
Sumska O. P., Polishchuk B. S., Ishchenko O. V. Evaluation of the biotechnological potential of anthocyanins of grape raw material of the odesskiy chorny variety	222
HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES	234
Kravchenko V. I., Kravchenko V. P. Research into the thermal characteristics of granular fuel made from sewage sludge	234
Litvinenko V. V., Andreyevska G. M., Mironenko I. M. Determination of reliability of offshore hydraulic structures at the design stage	241
Sokolovska H. V. Mathematical models of some problems of shipping and hydraulic engineering construction	248
Chekanovych M. G. Prestressing of concrete structures using the during – tensioning method.....	254

Таврійський науковий вісник

Випуск 6

Технічні науки

Підписано до друку 30.12.2024 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 30,92. Зам. № 0225/147

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
Україна, м. Одеса, 65101, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.